

ΥΠΟΕΡΓΟ Β

Δράση Β1

B1.3 Simulation of surface waters in the Prefecture of Rodopi using
MIKE SHE/MIKE 11

ΠΒ1.7 Ανάπτυξη του λεπτομερούς ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων στο Ν. Ροδόπης

DB1.7 Development of the detailed surface water
hydrological model of the Prefecture of Rodopi



Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) στο πλαίσιο του έργου «Προστασία και Ανόρθωση Υδατικών και Δασικών Πόρων Νομού Ροδόπης», που υλοποιείται από την Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας-Θράκης, με τη συνεργασία του Περιφερειακού Ταμείου Ανάπτυξης Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, του Φορέα Διαχείρισης Δέλτα Νέστου – Βιστωνίδας - Ισμαρίδας και του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων- Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Το έργο χρηματοδοτείται σε ποσοστό 50% από το Χρηματοδοτικό Μέσο Χωρών του Ενιαίου Οικονομικού Χώρου 2004 - 2009 και σε ποσοστό 50% από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων (ΠΔΕ) (εθνικούς πόρους).

The present study has been prepared by the Greek Biotope/Wetland Centre in the framework of the project "Protection and Rehabilitation of water and forest resources of the Prefecture of Rodopi", which is implemented by The Decentralised Administration of Macedonia – Thrace in collaboration with The Regional Development Fund of East Macedonia – Thrace, The Management Body of the Delta of Nestos – Vistonida - Ismarida, and The Goulandris Natural History Museum / Greek Biotope-Wetland Centre (EKBY). It is co-financed by 50% from the EEA Financial Mechanism for the period 2004 – 2009 and by 50% from the Public Investments Program (national funds).

Η πλήρης αναφορά της παρούσας έκθεσης είναι:

Παπαδήμος Δημήτρης, Χ. Δουλγέρης, Σ. Κατσαβούνη. 2012. Ανάπτυξη του λεπτομερούς ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων στο νομό Ροδόπης. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας - Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Θέρμη, 68 σελ.

This document may be cited as follows:

Papadimos, Dimitris, Ch. Doulgeris, S. Katsavouni. 2012. Development of the detailed surface water hydrological model of Rhodopi prefecture. The Goulandris Natural History Museum - Greek Biotope/Wetland Centre. Thermi, Greece, 68 p. (In Greek).

ΠΒ1.7 Ανάπτυξη του λεπτομερούς ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων στον Ν. Ροδόπης

ΤΙΤΛΟΣ / TITLE	ΠΒ1.7 Ανάπτυξη του λεπτομερούς ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων στον Ν. Ροδόπης / DB1.7 Development of the detailed model of surface water in the Prefecture of Rodopi
ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ / EDITOR	Παπαδήμος Δημήτρης, EKBY / Papadimos Dimitris, EKBY Δουλγέρης Χαράλαμπος, EKBY / Doulgeris Charalampos, EKBY Κατσαβούνη Σωτηρία, EKBY / Katsavouni Sotiria, EKBY
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ / DATE	Ιούνιος 2012 / June 2012
ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ / IDENTIFIER	DB1_7_Surface_Model.pdf
ΓΛΩΣΣΑ / LANGUAGE	Ελ / El

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δ. Παπαδήμος / *EKBY*

Χ. Δουλγέρης / *EKBY*

Σωτηρία Κατσαβούνη / *EKBY*

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Εισαγωγή	1
1. Υδατικοί πόροι στο Νομό Ροδόπης	2
1.1 Επιφανειακά νερά	2
1.2 Υπόγεια νερά	4
2. Μεθοδολογική προσέγγιση	8
2.1 Εγκατάσταση του MIKE SHE στο Ν. Ροδόπης	10
2.1.1 Περιοχή ανάπτυξης λεπτομερούς ομοιώματος – επιλογή κανάβου	10
2.1.2 Τοπογραφία – Ψηφιακό Ομοίωμα Ανάγλυφου	11
2.1.3 Κατακρημνίσματα – εξατμισοδιαπνοή αναφοράς	11
2.1.4 Χρήσεις γης	13
2.1.5 Ροή στην επιφάνεια του εδάφους	20
2.1.6 Ροή στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους	20
2.1.7 Ροή στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους	22
2.1.8 Αρχικές συνθήκες ομοιώματος	25
2.1.9 Οριακές συνθήκες του ομοιώματος	28
2.1.10 Στράγγιση	29
2.2 Εγκατάσταση του MIKE 11 στο Ν. Ροδόπης	31
2.2.1 Οριακές συνθήκες	38
2.2.2 Υδραυλικές κατασκευές	45
3. Ρύθμιση του ομοιώματος – Αποτελέσματα	48
Βιβλιογραφία	

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα χωρικά κατανεμημένα – φυσικής βάσης συστήματα υδρολογικής προσομοίωσης, θεωρούνται σήμερα μεταξύ των πλέον κατάλληλων εργαλείων για την εξασφάλιση επαρκούς υποστήριξης σε θέματα λήψης αποφάσεων, που αφορούν στη διαχείριση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων σε μια λεκάνη απορροής. Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τη δυνατότητα προσομοίωσης περιβαλλοντικών προβλημάτων με τα πλεονεκτήματα τα οποία προσφέρουν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems - GIS), και παρέχουν τη δυνατότητα αξιολόγησης και διερεύνησης πλήθους σεναρίων για την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων σε προβλήματα διαχείρισης των φυσικών πόρων, όπως είναι οι υδατικοί πόροι.

Το παρόν αποτελεί παραδοτέο του έργου “*Προστασία και Ανόρθωση Υδατικών και Δασικών Πόρων Νομού Ροδόπης*”, με κωδικό ΠΒ1.7, που υλοποιείται από την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, με τη συνεργασία του Περιφερειακού Ταμείου Ανάπτυξης Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, του Φορέα Διαχείρισης Δέλτα Νέστου – Βιστωνίδας - Ισμαρίδας και του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων- Υγροτόπων (EKBY).

Σκοπός του παρόντος είναι η ανάπτυξη και εγκατάσταση του συστήματος προσομοίωσης MIKE SHE/MIKE 11 στις υδρολογικές λεκάνες του Νομού Ροδόπης, με σκοπό την προσομοίωση του ισοζυγίου και της κίνησης των επιφανειακών υδάτων υπό τις υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισής τους.

Η έκθεση αποτελείται από τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται η περιγραφή των υδρογεωλογικών λεκανών και των συνθηκών που επικρατούν σε αυτές. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη του ανωτέρω συστήματος προσομοίωσης στις υδρολογικές λεκάνες του Νομού Ροδόπης, και τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα από την εφαρμογή του.

Αναπόσπαστο τμήμα του παρόντος, αποτελεί το παραδοτέο ΠΒ1.9 όπου παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα από το υδρολογικό ομοίωμα και αναλύονται τόσο χωρικά όσο και ποσοτικά οι επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους του νομού από την υφιστάμενη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΡΟΔΟΠΗΣ

1.1 Επιφανειακά ύδατα

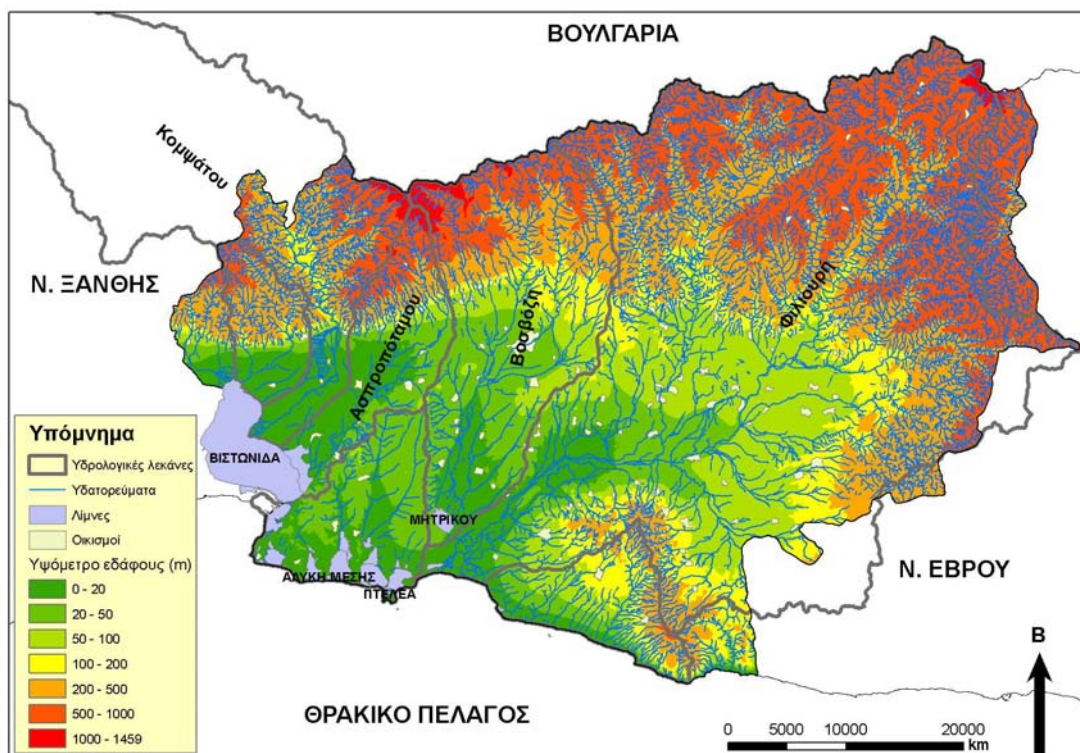
Ο Νομός Ροδόπης (Χάρτης 1) καταλαμβάνει έκταση 2.550 km² και συνορεύει βόρεια με τη Βουλγαρία, ανατολικά με τον Νομό Έβρου και δυτικά με τον Νομό Ξάνθης ενώ νότια βρέχεται από το Θρακικό Πέλαγος. Το ανάγλυφό του κυριαρχείται στο βόρειο τμήμα από τη βραχώδη μάζα του ορεινού συγκροτήματος της Ανατολικής Ροδόπης της οποίας οι ψηλότερες κορυφές Παπίκιο (1.460 m) και Μεγάλο Λιβάδι (1.267 m) βρίσκονται κατά μήκος των Ελληνο-Βουλγαρικών συνόρων. Το κεντρικό και νότιο τμήμα του ωστόσο είναι κατά βάση πεδινό με υψόμετρο που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 100 m, και ειδικότερα, η παράκτια περιοχή του Νομού Ροδόπης διακρίνεται γεωμορφολογικά σε λοφώδη και πεδινή.

Στον Νομό Ροδόπης βρίσκονται 4 κύριες υδρολογικές λεκάνες (Πίνακας 1), η λεκάνη του π. Φιλιουρή (ή Λίσσος), η λεκάνη του π. Βοσβόζη (ρέμα Κομοτηνής), η λεκάνη του π. Ασπροπόταμου (ή Τραύος) και τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του π. Κομψάτου (ή Ξηροπόταμος).

Ο π. Φιλιουρής, ο οποίος στραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα του Νομού, πηγάζει από την οροσειρά της Ροδόπης, ακολουθεί νοτιοδυτική πορεία και αφού συλλέξει μικρότερα υδατορεύματα στα ορεινά (Μακροπόταμος, Φιλιουροπόταμος, Μικρόρρεμα) καταλήγει στον όρμο Ανοιχτό του Θρακικού Πελάγους, δυτικά του χωριού Ίμερος και νότια της Λίμνης Ισμαρίδας (ή Μητρικού).

Ο π. Βοσβόζης πηγάζει από τα υψώματα της Ροδόπης βόρεια της Κομοτηνής (πρόποδες Παπίκιου Όρους και πρόποδες περιοχής Νυμφαίας) και εκβάλλει στην Λίμνη Ισμαρίδα, αφού πρώτα δεχθεί την απορροή και άλλων μικρότερων υδατορευμάτων (Χιονόρεμα, Καρυδιάς, Κάλχαντα).

Ο π. Ασπροπόταμος είναι μικρός ποταμός που πηγάζει από το Παπίκιο Όρος και εκβάλλει στο νοτιοανατολικό άκρο της Λίμνης Βιστωνίδας. Τέλος, ο π. Κομψάτος πηγάζει επίσης από την οροσειρά της Ροδόπης και ακολουθώντας πορεία νοτιοανατολική στο Νομό Ξάνθης και νοτιοδυτική στο Νομό Ροδόπης, εκβάλει στο ανατολικό τμήμα της Λίμνης Βιστωνίδας.



Χάρτης 1.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του Ν. Ροδόπης

Πίνακας 1. Κύριες υδρολογικές λεκάνες στο Νομό Ροδόπης

Υδρολογική λεκάνη	Έκταση (km ²)	Υψόμετρο (m)			Μέση κλίση (%)
		min	max	mean	
Φιλιουρή	1486	0	1206	312	12
Βοσβόζη	365	4	1411	243	8
Ασπροπόταμου	139	0	1436	179	15
Κομψάτου	596	0	1585	512	25

Η λίμνη Βιστωνίδα έχει έκταση 45 km² και βάθος 2-2,5 m και είναι ο αποδέκτης της ροής τριών κύριων ποταμών που εκβάλλουν σε αυτή, του Κόσυνθου, του Κομψάτου και του Ασπροπόταμου. Η ιδιαιτερότητα της λίμνης Βιστωνίδας είναι ότι το νερό της παρουσιάζει μεταβολές στην περιεκτικότητα των αλάτων. Έτσι στο βόρειο τμήμα της λίμνης υπάρχουν γλυκά νερά από τις εισροές τριών ποταμών ενώ στο νότιο τμήμα της η λίμνη είναι αλμυρή και το νερό αυτό προέρχεται από τη θάλασσα μέσω καναλιών που τη συνδέουν με τη λίμνη.

Η λίμνη Ισμαρίδα (ή Μητρικού) είναι μία αβαθής λίμνη γλυκού νερού η οποία βρίσκεται νότια της Κομοτηνής, σε απόσταση περίπου 4 km από τη θάλασσα. Στη ζώνη που την χωρίζει από τη θάλασσα κυριαρχούν εναλλαγές αμμωδών και αργιλοϊλυούχων υλικών η διάταξη των οποίων οφείλεται στη δελταϊκή δράση κυρίως του π. Φιλιουρή αλλά και στη δράση της θάλασσας. Η λίμνη είναι ο φυσικός αποδέκτης των νερών του π. Βοσβόζη και η διευθέτηση της κοίτης του ποταμού, σε συνδυασμό με την εκφόρτιση σε αυτόν και των υπολοίπων χειμάρρων της ορεινής

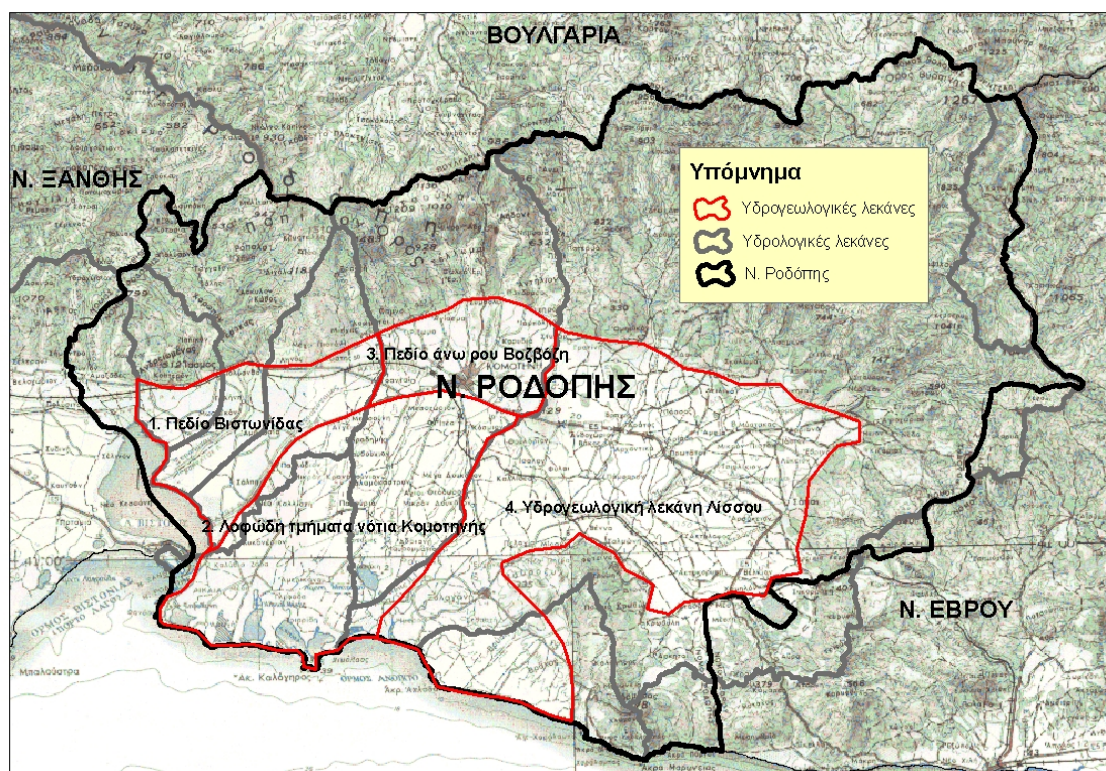
ζώνης, έχουν αυξήσει αισθητά τις ποσότητες νερού που φθάνουν ετησίως στη λίμνη, την ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια τον όγκο των φερτών υλών. Ανατολικά της λίμνης υπάρχει το σύμπλεγμα λιμνοθαλασσών Πτελέας, Αλυκής, Καρατζά, Ξηρολίμνης και άλλων μικρότερων.

1.2 Υπόγεια ύδατα

Το υπόγειο υδατικό δυναμικό του Νομού Ροδόπης εμφανίζεται ιδιαίτερα πλούσιο και εξυπηρετεί το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών αναγκών για την ύδρευση και την άρδευση της περιοχής. Οι υδρογεωολογικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται στο πεδινό και λοφώδες τμήμα του νομού και δομούνται κυρίως από παλαιογενή ιζήματα, νεογενείς σχηματισμούς και τεταρτογενείς προσχώσεις (Διαμαντής, 1991).

Οι κύριες υδρογεωολογικές λεκάνες, οι οποίες μπορεί να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ή να βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία δίνονται στο Χάρτη 1 και είναι (Διαμαντής, 1991, 2009):

- Το πεδίο της Βιστωνίδας
- Τα λοφώδη τμήματα νότια Κομοτηνής (κύριο λοφώδες τμήμα)
- Πεδίο άνω ρου των χειμάρρων Βοσβόζη, Καρυδιάς, τρελοχειμάρρου
- Υδρογεωολογική λεκάνη κλάδων π. Λίσσου (χαμηλό τμήμα)



Χάρτης 1.2 Όρια υδρογεωολογικών λεκανών στο πεδινό τμήμα του Ν. Ροδόπης

Πεδίο Βιστωνίδας

Το πεδίο της Βιστωνίδας καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού και φιλοξενεί ένα σύνολο ιζημάτων δελταϊκού τύπου με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως την παρουσία έντονων ποταμοχειμάρριων στρωμάτων και την ανάπτυξη ζωνών κατά μήκος παλιών και νέων κοιτών (Κομψάτος, Ασπροπόταμος), με αδρομερή υλικά τα οποία έχουν πιο λεπτή κοκκομετρική σύσταση όσο πλησιάζουμε προς τη λίμνη και γύρω από την περιοχή της λίμνης εξαπλώνονται υλικά με αργιλική ή ιλυοαμμώδη σύσταση.

Το πεδίο αποτελεί σχεδόν υδρογεωλογική μονάδα και έρχεται σε επαφή κατά θέσεις με τις γειτονικές λεκάνες. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μία σημαντική υπόγεια επαφή ανάμεσα στο πεδίο της Βιστωνίδας και τα λοφώδη τμήματα νότια της Κομοτηνής, με κατεύθυνση από τα υδροφόρα της Βιστωνίδας προς τα υδροφόρα των λόφων.

Το πεδίο χωρίζεται σε δύο περιοχές, την περιοχή πλησίον της κοίτης του Κομψάτου και την περιοχή βόρειο-ανατολικά του άξονα Πολύανθου-Αμβροσίας. Στην περιοχή πλησίον της κοίτης του Κομψάτου, παρουσιάζονται υψηλές τιμές υδροπερατότητας και αποθηκευτικότητας. Η εκμετάλλευση της υδροφορίας γίνεται με περισσότερες από 850 αβαθείς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 30 μέτρων και 150 βαθιές γεωτρήσεις με μεγάλες παροχές της τάξης των 120-150 m³/h. Πολλές από τις αβαθείς γεωτρήσεις εξαντλούνται ή κατεβαίνει υπερβολικά η στάθμη τους προς το τέλος του καλοκαιριού αλλά επανέρχεται στα κανονικά επίπεδα μέχρι το τέλος του Φθινοπώρου ακόμα και κατά τη διάρκεια των ξηρών ετών.

Η περιοχή ΒΑ του άξονα Πολύανθου-Αμβροσίας διαφέρει ριζικά από την προηγούμενη κυρίως ως προς τη δομή των υδροφόρων. Φιλοξενεί ένα σχετικά μικρού δυναμικού φρεάτιο ή μερικώς υπό πίεση ορίζοντα ενώ παράλληλα περιορισμένη εμφανίζεται και η βαθιά υδροφορία. Υπάρχουν περισσότερες από 1000 αβαθείς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 20 μέτρων με παροχές από 5-10 m³/h και 25 βαθιές γεωτρήσεις των οποίων η παροχή δεν ξεπερνά τα 70 m³/h.

Η ποιότητα των νερών του πεδίου της Βιστωνίδας θεωρείται κατάλληλη όχι μόνο για άρδευση αλλά και για ύδρευση (ΔΠΘ, 2008).

Λοφώδη τμήματα νότια της Κομοτηνής

Η λοφώδης περιοχή νότια της Κομοτηνής αποτελεί ενιαία υδρογεωλογική λεκάνη και ορίζεται δυτικά από το τμήμα της εθνικής οδού Ξάνθης-Κομοτηνής, ανατολικά από τον π. Λίσσο και νότια φθάνει μέχρι τη θάλασσα. Στην περιοχή εμφανίζεται έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα και κατά συνέπεια αποτελεί ένα σημαντικό αναπτυξιακό παράγοντα για το νομό. Διακρίνονται δύο υπόγεια υδροφόρα συστήματα, της Πόρπης δυτικά του π. Βοσβόζη από το οποίο αρδεύονται 100.000 στρ. και του Ν. Σιδηροχωρίου ανατολικά του π. Βοσβόζη από το οποίο αρδεύονται 9.500 στρ..

Στο πεδίο της Πόρπης, τα χονδρόκοκκα υλικά (άμμος, χαλίκια, κροκάλες) αποτελούν το κυρίως υδροφόρο στρώμα της περιοχής, του οποίου ο πυθμένας αποτελείται από στρώμα γρι-πράσινης αργίλου. Το υδροφόρο στρώμα συχνά εμφανίζεται σε δύο ή και τρεις ενστρωματώσεις οι οποίες παρουσιάζουν υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους, ενώ το φαινόμενο αυτό γίνεται εντονότερο στο νότιο όριο της περιοχής. Τα στρώματα τα οποία παρεμβάλλονται ενδιάμεσα των παραπάνω

ενστρωματώσεων έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ποικίλων συνθηκών υδραυλικής αγωγιμότητας του σχηματισμού τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση. Το μέσο πάχος των υδροφόρων της περιοχής είναι 48 m.

Εντοπίζεται ένα πυκνό δίκτυο με περισσότερες από 600 γεωτρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο για αρδευτικούς όσο και υδρευτικούς σταθμούς. Το βασικό χαρακτηριστικό της συνολικής εικόνας του υπό εξέταση υδροφόρου είναι οι αρνητικές τιμές του απόλυτου υψομέτρου της στάθμης λόγω των συνθηκών της εντατικής εκμετάλλευσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα συστηματικά στην περιοχή την τελευταία 20-ετία.

Όσον αφορά στην ποιότητα του νερού, υπάρχει ένα αλμυρό μέτωπο το οποίο εντοπίζεται στην περιοχή Γλυκονερίου, από τη δυτική ακτή της περιοχής έρευνας ενώ αλμυρό μέτωπο εντοπίζεται επίσης στο τμήμα της περιοχής έρευνας που εκτείνεται νοτιοδυτικά της λίμνης Ισμαρίδας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εμφανίζει αρκετά υψηλές τιμές της τάξης των 2000 έως 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ δημιουργώντας προβλήματα κατά τη χρήση του νερού στην άρδευση. Το κυρίως υδροφόρο στρώμα βορειοδυτικά του άξονα μεταξύ των λιμνών Ισμαρίδας-Βιστωνίδας περιέχει υπόγεια νερά πολύ καλής ποιότητας, με τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που δεν υπερβαίνουν τα 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Το πεδίο Ν. Σιδηροχωρίου αποτελείται από ένα φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα μέχρι το βάθος των 30 m ενώ από τα 90 έως τα 120 m αναπτύσσεται ένας υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας μικρής δυναμικότητας, ο οποίος τροφοδοτείται από τον φρεάτιο ορίζοντα. Στην περιοχή είναι έντονη η παρουσία εγκλωβισμένων αλμυρών νερών παλαιότερης ηλικίας στο φρεάτιο ορίζοντα ενώ με την εντατική εκμετάλλευση των τελευταίων δύο δεκαετιών έγινε αποδέκτης σύγχρονης διείσδυσης θαλασσινού νερού σαν αποτέλεσμα της μεγάλης υποχώρησης της στάθμης εξαιτίας των υπεραντλήσεων σε συνδυασμό με το πολύ χαμηλό υψόμετρο της περιοχής. Επιπρόσθετα, ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας έγινε αποδέκτης αλμυρού νερού από τη λειτουργία γεωτρήσεων οι οποίες επιτρέπουν την κατακόρυφη υδραυλική επικοινωνία φυσικώς απομονωμένων υδροφορέων, ο οποίος υπό άλλες συνθήκες θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άρδευση (ΔΠΘ, 2008).

Πεδίο άνω ρου των χειμάρρων Βοσβόζη, Καρυδιάς, Τρελοχειμάρρου

Το πεδίο των χειμάρρων Βοσβόζη, Καρυδιάς και Τρελοχειμάρρου βρίσκεται βορειοδυτικά, βόρεια και βορειοανατολικά της πόλης της Κομοτηνής και έχει νότιο όριο την εθνική οδό Ξάνθης-Κομοτηνής, και ανατολικό και δυτικό όριο τον υδροκρίτη της λεκάνης του π. Βοσβόζη.

Το πεδίο αυτό παρουσιάζει μικρό ενδιαφέρον ως προς τα υπόγεια νερά. Το τμήμα ανατολικά της Κομοτηνής είναι πιο εξασθενημένο από πλευράς υπόγειων νερών και αντλείται από δύο μόνο βαθιές γεωτρήσεις και ένα αριθμό περίπου 50 αβαθών γεωτρήσεων. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το τμήμα δυτικά της Κομοτηνής που ταυτίζεται με τον άνω ρου του Βοσβόζη και καλύπτεται από τις προσχώσεις των χειμάρρων που καταλήγουν σ' αυτόν από την ορεινή ζώνη.

Στις προσχώσεις του πεδινού τμήματος του άνω ρου του Βοσβόζη φιλοξενείται ένα φρεάτιο ορίζοντας, η εκμετάλλευση του οποίου καλύπτει τις περιορισμένες αρδευτικές ανάγκες. Από την περιοχή αυτή ικανοποιούνται και οι ανάγκες ύδρευσης του Δήμου Κομοτηνής. Η ποιότητα των υπόγειων νερών είναι άριστη και ικανοποιεί όλες τις χρήσεις (ΔΠΘ, 2008).

Υδρογεωλογική λεκάνη κλάδων π. Λίσσου

Η υδρογεωλογική λεκάνη κλάδων του π. Λίσσου καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη σχεδόν έκταση του χαμηλού ανάγλυφου του νομού και κατανέμεται μεταξύ του λοφώδους ανάγλυφου και τριών πεδινών τμημάτων, του Φλουροπόταμου ανατολικά, του Μακροπόταμου δυτικά και το τμήμα της νέας διαμορφωμένης κοίτης του Λίσσου που εκτείνεται νότια μέχρι τη θάλασσα. Οι λοφώδεις περιοχές χαρακτηρίζονται από την απουσία οποιασδήποτε μορφής υδροφορίας και ως εκ τούτου επικρατούν ξηρικές καλλιέργειες (σιτηρά, καπνός). Στα πεδινά τμήματα φιλοξενούνται αβαθή υδροφόρα τα οποία καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής και εκτός από τα σιτηρά καλλιεργούνται ο αραβόσιτος, το βαμβάκι και τα τεύτλα.

Στα πεδινά τμήματα της λεκάνης του Λίσσου εντοπίζεται ένα σύνολο πρόσφατων ιζημάτων το μέγιστο πάχος των οποίων εκτιμάται στα 15 m και το οποίο μειώνεται προς τα νότια της περιοχής. Μόνο στο τρίτο πεδινό τμήμα, ευρύτερη περιοχή Ξυλαγανής, εντοπίζονται και πλειστοκαινικές αποθέσεις το πάχος των οποίων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 50 και 80 m.

Οι αρδευτικές ανάγκες ικανοποιούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου με σημαντικά όμως προβλήματα κατά τα ξηρά υδρολογικά έτη. Προβλήματα υφαλμύρισης παρατηρούνται στο νότιο τμήμα της περιοχής, πλησίον του οικισμού Ίμερος, λόγω της εκβάθυνσης των γεωτρήσεων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών (ΔΠΘ, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για την επίτευξη των σκοπών του παρόντος και την ανάπτυξη του υδρολογικού ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων του Νομού Ροδόπης, επιλέχθηκε η εφαρμογή των συστημάτων υδρολογικής και υδραυλικής προσομοίωσης MIKE SHE και MIKE 11 αντίστοιχα (εφεξής θα αναφέρονται για λόγους συντομίας ως MIKE SHE/MIKE 11). Στο εν λόγω ομοίωμα, παρότι δεν προβλέπεται η προσομοίωση των υπόγειων υδάτων, εντούτοις ενσωματώθηκε και ο φρεάτιος υδροφορέας, για λόγους ολοκληρωμένης προσέγγισης αλλά κυρίως για τη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στην περιοχή.

Το MIKE SHE είναι ένα φυσικής βάσης, πλήρως καταναμημένο σύστημα υδρολογικής προσομοίωσης το οποίο συνδυάζεται δυναμικά με το MIKE 11. Το τελευταίο, αποτελεί ένα προσδιοριστικό σύστημα πεπερασμένων διαφορών, το οποίο είναι σε θέση να προσομοιώνει την υδραυλική κίνηση του νερού σε ανοιχτούς αγωγούς (π.χ. δώρυγες, ποταμοί, δέλτα, λίμνες κ.ά.). Καλείται από το MIKE SHE σε κάθε χρονικό βήμα ανταλλάσσοντας μεταξύ τους δεδομένα, καθιστώντας δυνατή, τη δυναμική επικαιροποίηση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης. Στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης, με τη συνδυασμένη χρήση των δυο συστημάτων προσομοιώνονται οι ακόλουθες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου:

- Ροή νερού στην επιφάνεια του εδάφους (όταν η ένταση βροχής υπερβαίνει τη διηθητική ικανότητά του) και αποθήκευσή του στις τοπογραφικές κοιλότητες
- Διήθηση και αποθήκευση του νερού στη ακόρεστη ζώνη του εδάφους
- Ανταλλαγή νερού μεταξύ ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης του εδάφους
- Απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής
- Ανταλλαγή νερού μεταξύ κορεσμένης ζώνης του εδάφους και των υδατορευμάτων
- Κίνηση του νερού στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους και αποθήκευση σε αυτή
- Κίνηση του νερού μέσα στα υδατορεύματα
- Στράγγιση των εδαφών
- Διαχείριση των υδατικών πόρων (αρδεύσεις, εκτροπές, μεταφορά υδάτων κ.λ.π.)

Το ανωτέρω σύστημα αναπτύχθηκε σε ολόκληρο το νομό Ροδόπης. Παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε διαφορετική προσέγγιση για το ορεινό και το πεδινό τμήμα του. Στο πρώτο, όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες περιορίζονται σε μικρού μεγέθους εκτατικής μορφής γεωργικές εκμεταλλεύσεις, με ελάχιστη ή καθόλου χρήση αρδευτικού νερού, κρίθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη ενός αδρομερούς υδρολογικού ομοιώματος (χρήση του MIKE 11 RR module), για την προσομοίωση της σχέσης βροχής – απορροής. Αντίθετα, στο πεδινό τμήμα, αναπτύχθηκε ένα λεπτομερές υδρολογικό του ομοίωμα, το οποίο περιλαμβάνει την εξατμισοδιαπνοή, την επιφανειακή απορροή, την κίνηση του νερού στα ποτάμια και τις λίμνες, καθώς και αυτήν στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη του εδάφους. Τα δυο ομοιώματα λειτουργούν ταυτόχρονα και συμπληρωματικά στο

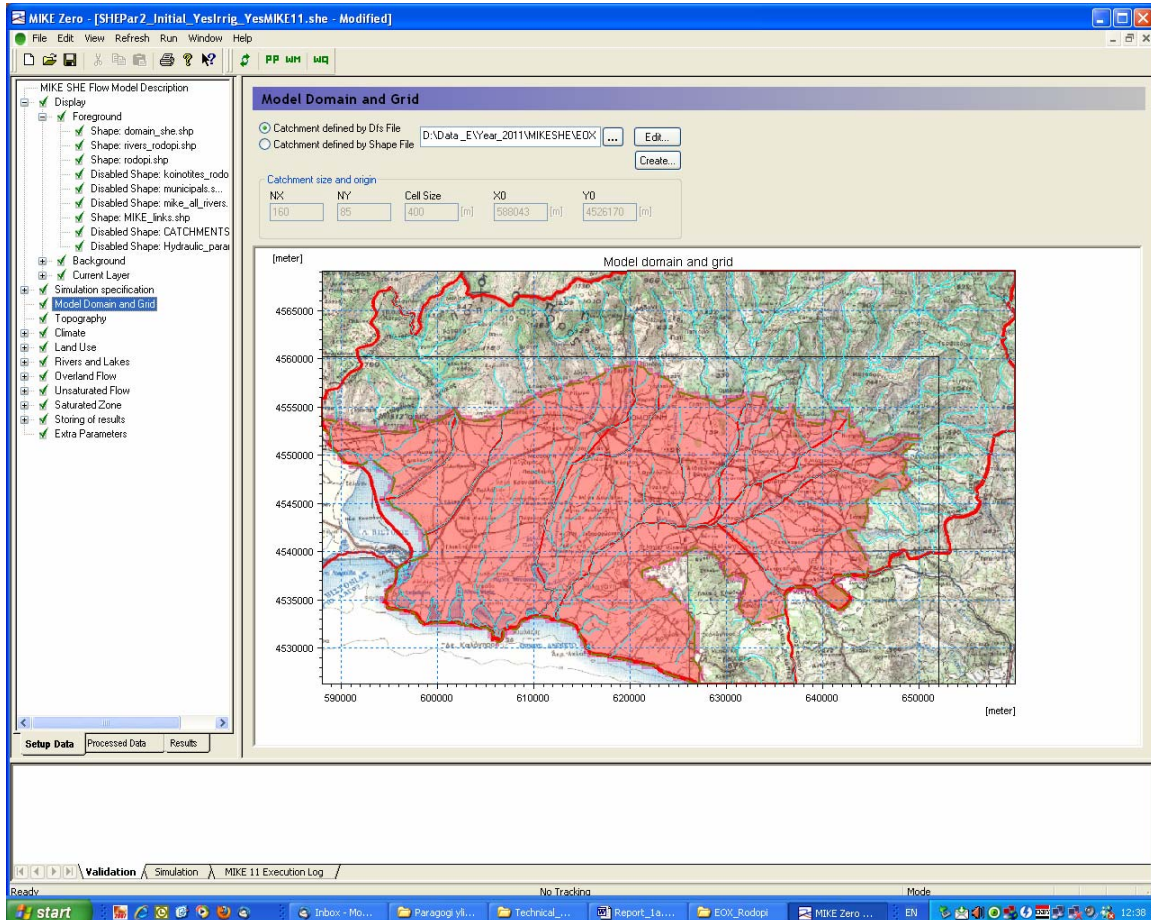
περιβάλλον του MIKE SHE/MIKE 11, με το πρώτο να τροφοδοτεί με δεδομένα απορροής το δεύτερο.

Η περίοδος προσομοίωσης αναφέρεται στο χρονικό διάστημα 1981 – 2009 με ημερήσιο χρονικό βήμα. Με το τρόπο αυτό η έναρξη της προσομοίωσης συμπίπτει χρονικά με την έναρξη εξάπλωσης των αρδεύσεων στο νομό, με τη χρήση επιφανειακών γεωτρήσεων. Κατά συνέπεια μπορεί να θεωρηθεί ότι οι υδρολογικές συνθήκες οι οποίες επικρατούσαν έως τότε διαμορφώνονταν ως αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων και της εξατμισοδιαπνοής.

2.1 Εγκατάσταση του MIKE SHE/MIKE 11 στο Ν. Ροδόπης

2.1.1 Περιοχή ανάπτυξης λεπτομερούς ομοιώματος – επιλογή κανάβου

Η περιοχή του Νομού Ροδόπης στην οποία αναπτύχθηκε το λεπτομερές υδρολογικό της ομοίωμα με τη χρήση του MIKE SHE/MIKE 11, φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1. Περιοχή ανάπτυξης του λεπτομερούς υδρολογικού ομοιώματος στο νομό Ροδόπης με τη χρήση του συστήματος MIKE SHE/MIKE 11

Η συνολική έκταση της εν λόγω περιοχής ανέρχεται σε 1,120.64 km². Για τη δακρυτοποίησή της, επιλέχθηκε κάνναβος (ορθογωνικός), με μέγεθος κελιού 400 x 400 m. Το μέγεθος αυτό αποτελεί έναν πρακτικό συμβιβασμό ανάμεσα στον υπολογιστικό χρόνο που απαιτείται για την προσομοίωση διάρκειας 30 ετών και χρονικού βήματος μιας ημέρας και στην ακρίβεια με την οποία αναπαρίστανται χωρικά τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της υπό προσομοίωση έκτασης (λίμνες, ποτάμια) και οι χρήσεις γης σε αυτήν.

2.1.2. Τοπογραφία – Ψηφιακό Ομοίωμα Ανάγλυφου

Το ανάγλυφο του εδάφους αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους στο περιβάλλον του MIKE SHE για τη διαδικασία προσομοίωσης. Καθορίζει τόσο τις περιοχές στράγγισης όσο και αυτές όπου το νερό απορρέει επιφανειακά, ενώ ταυτόχρονα διαμορφώνει το άνω φυσικό όριο τόσο της ακόρεστης - και έστω υπό συνθήκες - και της κορεσμένης ζώνης.

Το ψηφιακό ομοίωμα του ανάγλυφου του εδάφους στο πεδινό τμήμα του νομού Ροδόπης προέκυψε από την επεξεργασία κάθε διαθέσιμης υψομετρικής και υδρολογικής πληροφορίας εντός, αλλά και περιμετρικά αυτής: α) ισοϋψείς καμπύλες, β) υψομετρικά σημεία και γ) φυσικό υδρογραφικό δίκτυο, από χάρτες 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.

2.1.3. Κατακρημνίσματα – εξατμισοδιαπνοή αναφοράς

Το ύψος βροχής και η έντασή της αποτελεί την κινητήρια δύναμη για όλες σχεδόν τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου. Εντός των ορίων του νομού Ροδόπης, η βροχή παρακολουθείται από πλήθος μετεωρολογικών σταθμών από τους οποίους επιλέχθηκαν οι ακόλουθοι: Ίασμος, Πόρπη, Γρατινή, Αρίσβη, Κρωβύλη, Σάπες, Οργάνη, Μικρά Ξύδια (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1. Βροχομετρικοί σταθμοί εντός των ορίων του Νομού Ροδόπης.

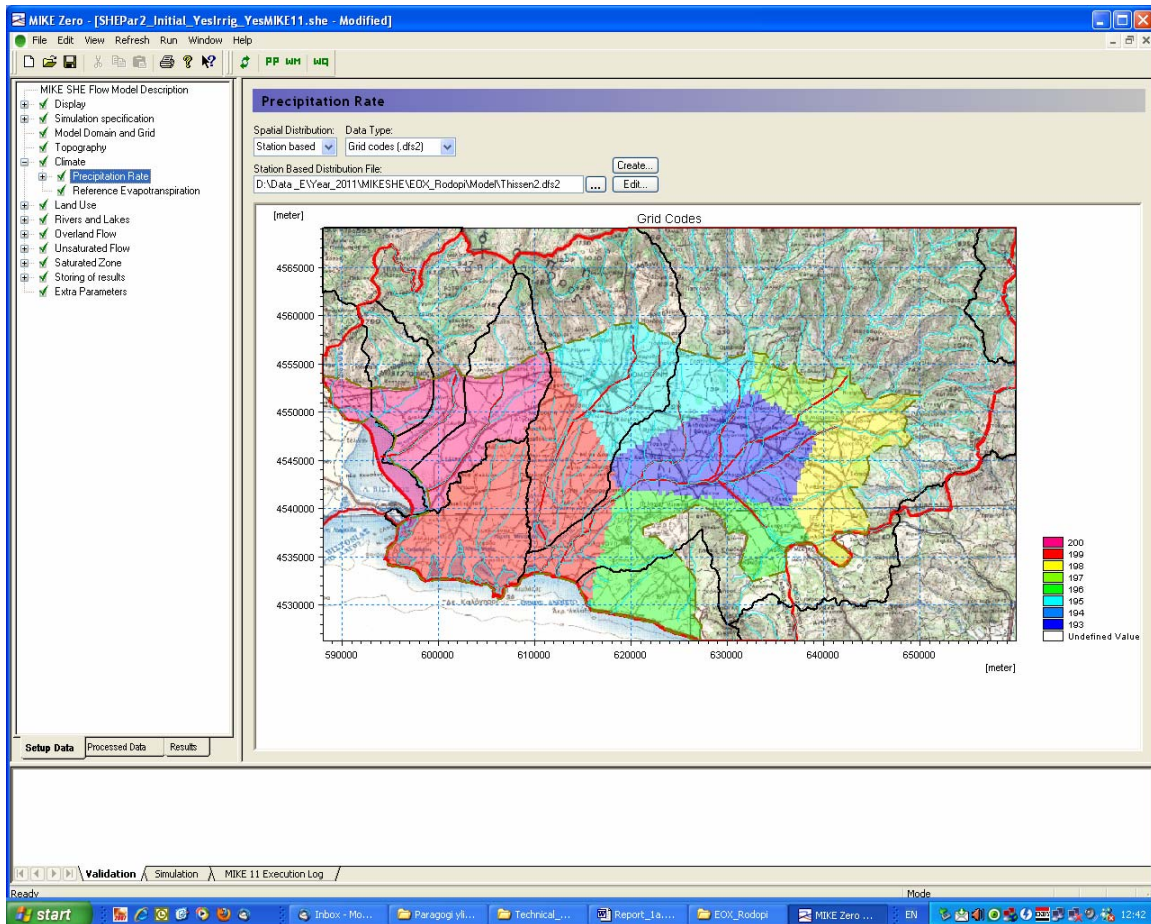
Τοποθεσία	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Υψόμετρο	Παράμετρος (*)
Ίασμος	25°11'08"	41°07'32"	22	B
Πόρπη	25°14'04"	41°00'52"	32	B
Γρατινή	25°31'58"	41°08'17"	80	B, Θ, E
Αρίσβη	25°34'40"	41°03'45"	41	B
Κρωβύλη	25°33'37"	40°56'58"	97	B
Σάπες	25°42'41"	41°01'15"	181	B
Οργάνη	25°41'00"	41°15'01"	400	B
Μικρά Ξύδια	25°38'00"	41°07'46"	122	B, Θ, E

(*) B: ύψος βροχής, Θ: θερμοκρασία, E: εξατμηση

Από την επεξεργασία και συμπλήρωση των ημερήσιων τιμών ύψους βροχής των ανωτέρω σταθμών, προέκυψαν πλήρεις χρονοσειρές για την περίοδο 1999 έως 2009, οι οποίες και εισήχθησαν στο σύστημα MIKE SHE/MIKE 11. Επιπλέον, εισήχθησαν στο ομοίωμα και χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές ύψους βροχής και εξατμισοδιαπνοής από τους ανωτέρω σταθμούς για το χρονικό διάστημα 1981 – 1999 οι οποίες προήλθαν από το έργο «Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικών

διαμερισμάτων Δυτικής Μακεδονίας, Κεντρικής Μακεδονίας, Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης»

Για τη χωρική κατανομή των ημερήσιων τιμών βροχής των ανωτέρω σταθμών, επιλέχθηκε το επίπεδο των πολυγώνων Thiessen όπως αυτό προέκυψε για τη Μακεδονία και τη Θράκη στο πλαίσιο του έργου «Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικών διαμερισμάτων Δυτικής Μακεδονίας, Κεντρικής Μακεδονίας, Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης». Στο Σχήμα 2.2 δίνεται η ανωτέρω κατανομή όπως αυτή εισήχθηκε στο περιβάλλον του MIKE SHE/MIKE 11 για την ανάπτυξη του υδρολογικού ομοιώματος του Νομού Ροδόπης, όπου στο κέντρο κάθε πολυγώνου βρίσκεται και ο αντιπροσωπευτικός σταθμός.



Σχήμα 2.2 Χωρική κατανομή της βροχής στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης

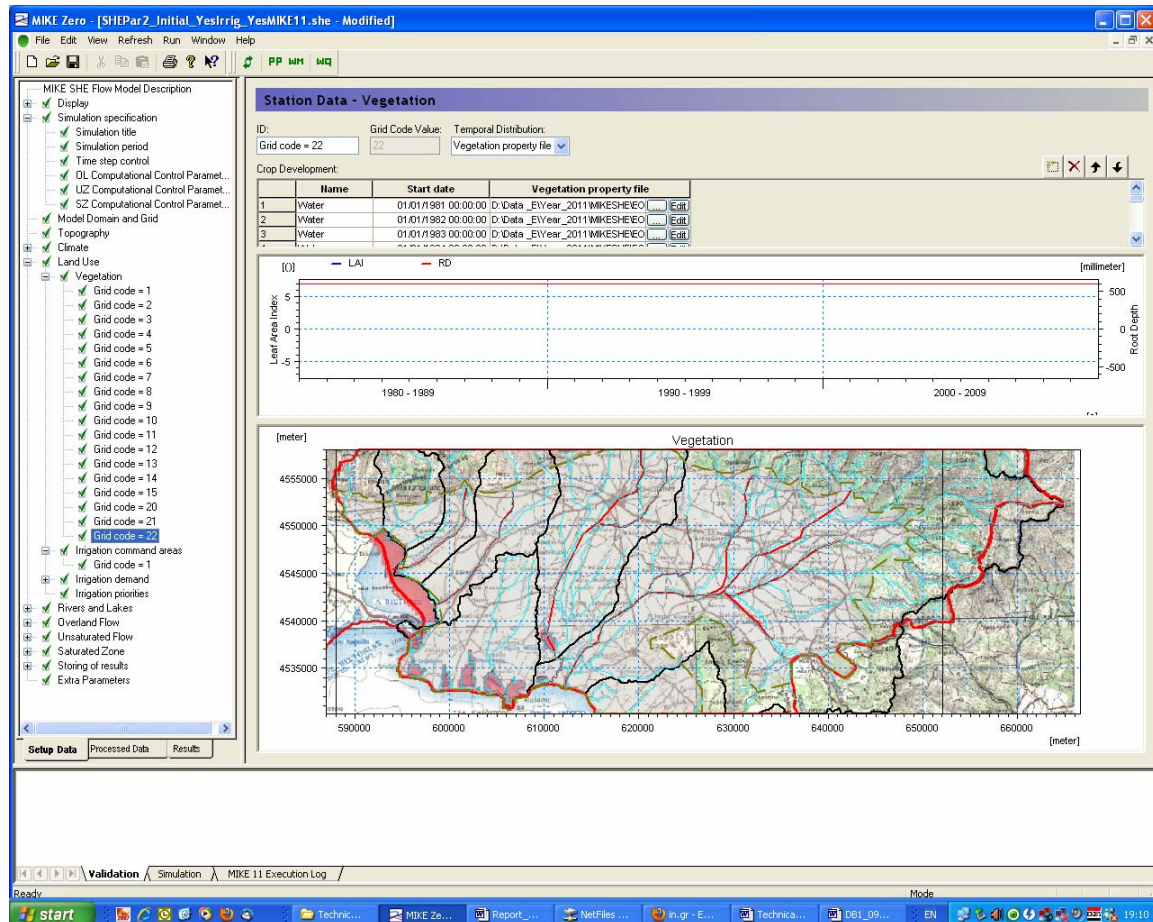
Οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, προέκυψαν με βάση τις παρατηρήσεις (θερμοκρασία), του σταθμού Γρατινής. Ο εν λόγω σταθμός επιλέχθηκε έναντι των υπολοίπων που διέθεταν τιμές θερμοκρασίας λόγω του χαμηλότερου υψομέτρου του, το οποίο είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικό για το πεδινό τμήμα του νομού. Οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, θεωρήθηκε ότι κατανέμονται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την έκταση του ομοιώματος.

2.1.4 Χρήσεις γης

Οι κυριότερες κατηγορίες χρήσης γης στο πεδινό τμήμα του νομού αφορούν γεωργικές εκτάσεις, λιβαδικές εκτάσεις, αδιαπέρατες επιφάνειες (αστικές ή βιομηχανικές περιοχές, δρόμοι) και υδάτινες επιφάνειες (λίμνες, ποταμοί). Οι κατηγορίες αυτές εισήχθησαν στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού χωρικά κατανεμημένες, ενώ καταβλήθηκε προσπάθεια η έκτασή τους να είναι όσο το δυνατό ακριβής.

Οι χρήσεις γης στο περιβάλλον του MIKE SHE/MIKE 11 συνδέονται επιπλέον και με τις ακόλουθες παραμέτρους: α) το συντελεστή φυλλικής επιφάνειας (LAI) και β) το βάθος του ριζοστρώματος (RD). Η χωρική κατανομή των παραμέτρων αυτών ταυτίζεται με αυτή των χρήσεων γης, ενώ η χρονική τους κατανομή διαφοροποιείται κατά περίπτωση.

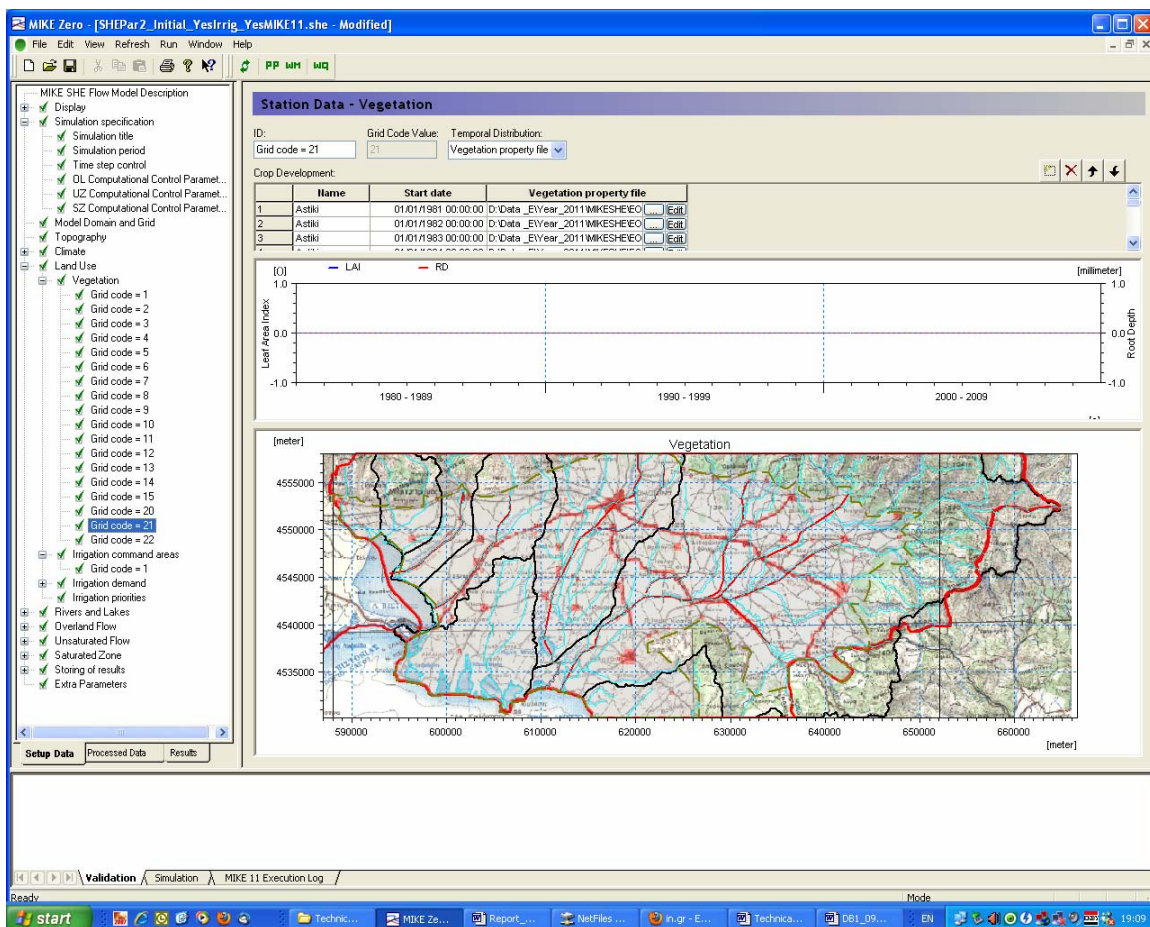
- Υδάτινες επιφάνειες. Αφορούν περιοχές στις οποίες η ελεύθερη επιφάνεια του νερού καταλαμβάνει έκταση μεγαλύτερη του ενός κελιού (400 x 400 m). Ως τέτοια θεωρήθηκε μόνο η Λίμνη Ισμαρίδα και οι λιμνοθάλασσες του νομού (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Χωρική κατανομή των υδάτινων επιφανειών στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης

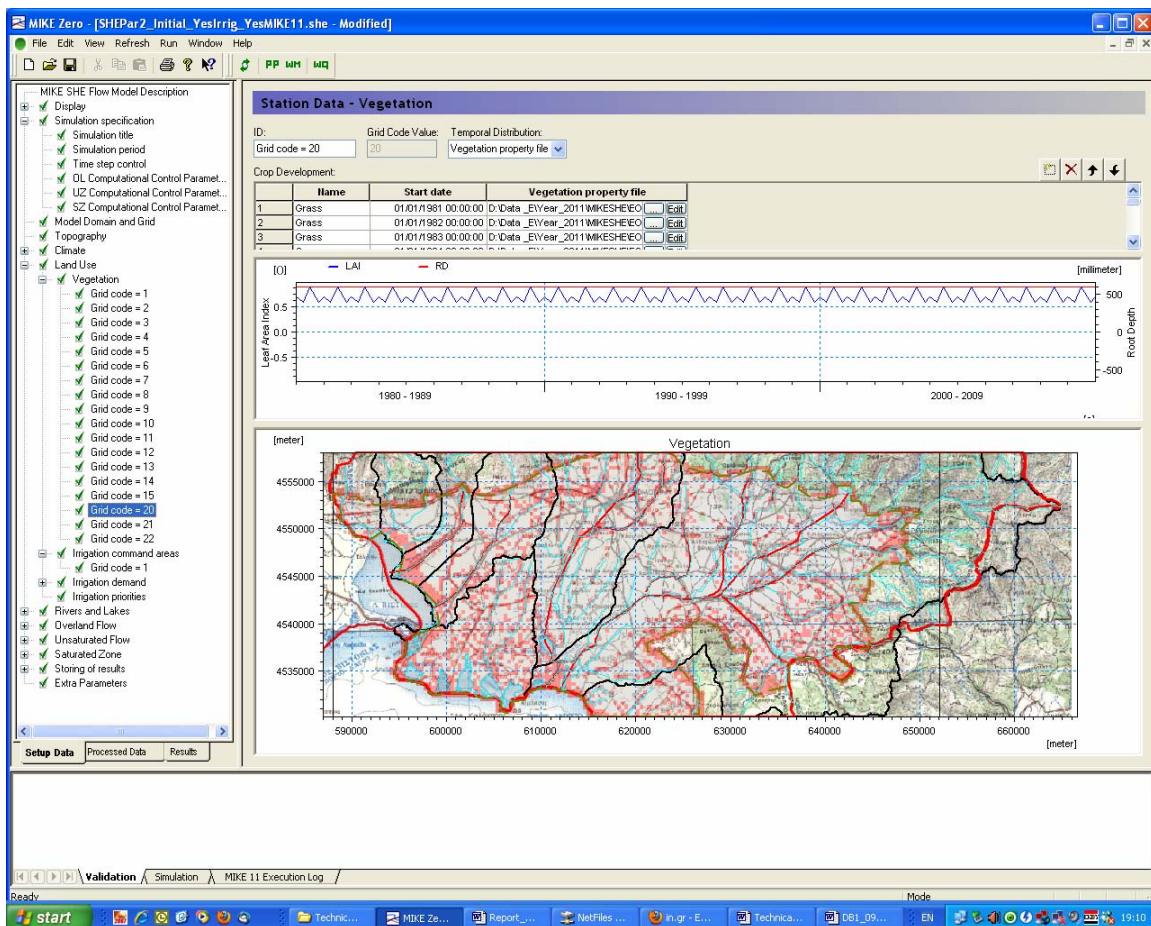
Η εισαγωγή τους στο ομοίωμα έγινε με ψηφιοποίηση από χάρτες της ΓΥΣ 1:100000. Το LAI θεωρήθηκε σταθερό και ίσο με 7 για όλη την περίοδο του έτους, ενώ αντίστοιχα το βάθος ριζοστρώματος εκλήφθηκε ίσο με 600 mm, επίσης σταθερό για όλη τη διάρκεια του έτους. Οι τιμές αυτές εξασφαλίζουν ότι η εξατμηση από τη λίμνη θα ισούται τουλάχιστον με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, εφόσον υπάρχει η διαθέσιμη ποσότητα νερού.

- Αστικές περιοχές. Οι περιοχές αυτές ψηφιοποιήθηκαν από χάρτες της ΓΥΣ 1:100000 και περιλαμβάνουν πέραν των κατοικημένων περιοχών και τους κύριους οδικούς άξονες στο νομό (Σχήμα 2.4). Τόσο το LAI όσο και το βάθος ριζοστρώματος, θεωρήθηκαν σταθερά και ίσα με 0 για όλη την περίοδο του έτους, που ισοδυναμεί με μηδενικές τιμές εξατμισοδιαπνοής από τις επιφάνειες αυτές.



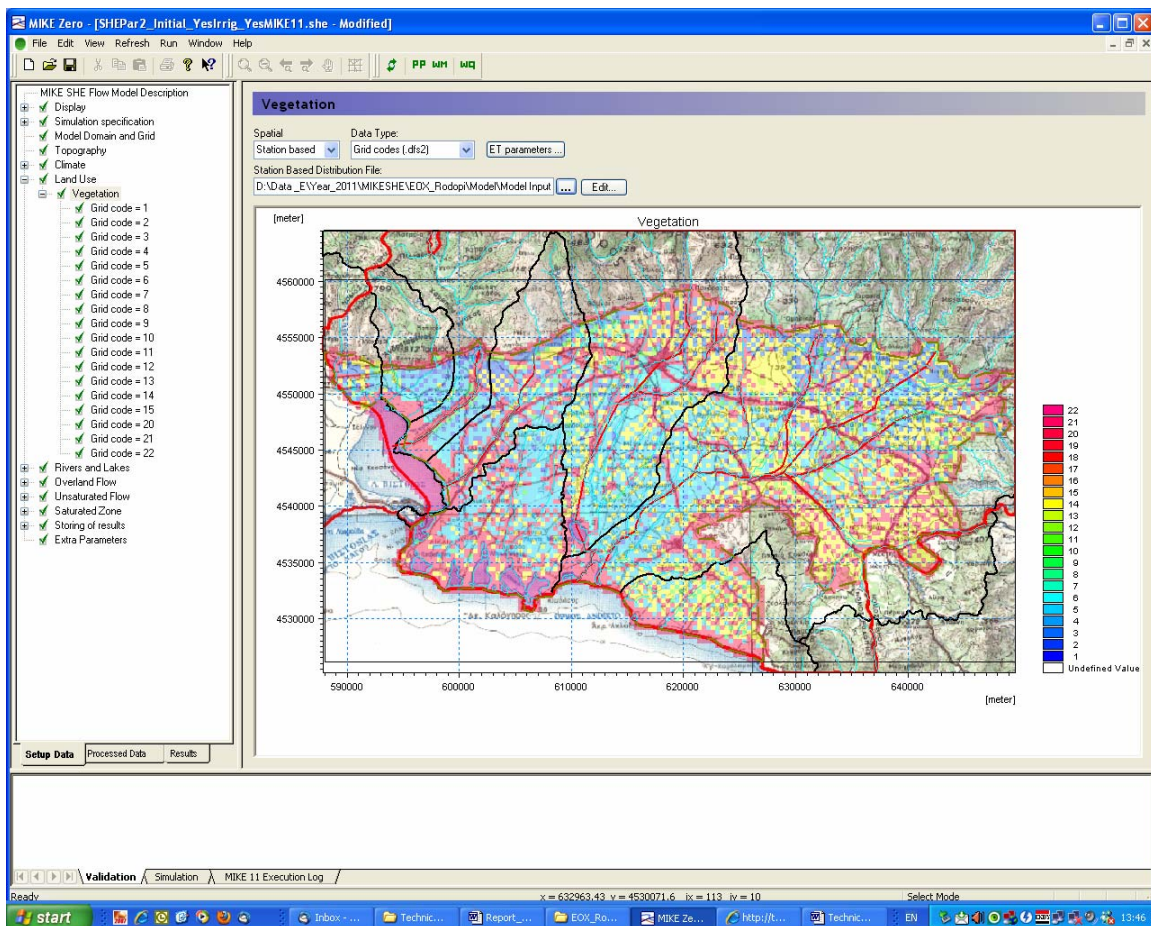
Σχήμα 2.4 Χωρική κατανομή των αστικών περιοχών στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης

- Λιβαδικές εκτάσεις. Σε πρώτη φάση ψηφιοποιήθηκαν από χάρτες της ΓΥΣ 1:100000 ενώ η τελική έκτασή τους οριστικοποιήθηκε με βάση την έκταση των γεωργικών εκτάσεων (Σχήμα 2.5). Το βάθος ριζοστρώματος εκλήφθηκε σταθερό και ίσο με 600 mm για όλη την περίοδο του έτους. Ενώ το LAI κυμαίνεται κατά τη διάρκεια του έτους από 0.7 έως 0.9.



Σχήμα 2.5 Χωρική κατανομή των λιβαδικών εκτάσεων στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης

- Γεωργικές εκτάσεις. Η κατηγορία αυτή διακριτοποιήθηκε περαιτέρω σε 15 καλλιέργειες (Σχήμα 2.6 & Πίνακας 2.2), με βάση στοιχεία τα οποία συγκεντρώθηκαν (Κατσαβούνη, 2010) και αφορούσαν τη σύνθεση των καλλιεργειών στο νομό κατά τη δεκαετία 2000 – 2008.



Σχήμα 2.6 Χωρική κατανομή της σύνθεσης των καλλιεργειών στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης.

Η βλαστική περίοδος των καλλιεργειών εκλήφθηκε από τον Παπαζαφειρίου (1984). Η μεταβολή του βάθους του ριζοστρώματος των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια των βλαστικών σταδίων ανάπτυξης τους εκτιμήθηκε με βάση το μέγιστο βάθος ανάπτυξης τους (Παπαζαφειρίου, 1999) και την εξίσωση:

$$R = R_i + \frac{D - D_p}{D_c - D_p} (R_{\max} - R_i) \quad 2.1$$

όπου:

- R : βάθος ριζοστρώματος
- R_{\max} : μέγιστο βάθος ριζοστρώματος της καλλιέργειας
- R_i : βάθος ριζοστρώματος κατά την ημερομηνία εκβλάστησης (7 cm)
- D : ημέρα της βλαστικής περιόδου
- D_p : ημέρα εκβλάστησης από τη σπορά (10^η μέρα)
- D_c : ημέρα πλήρους ανάπτυξης της φυτοκόμης (τέλος 2^{ου} ή 3^{ου} Σταδίου)

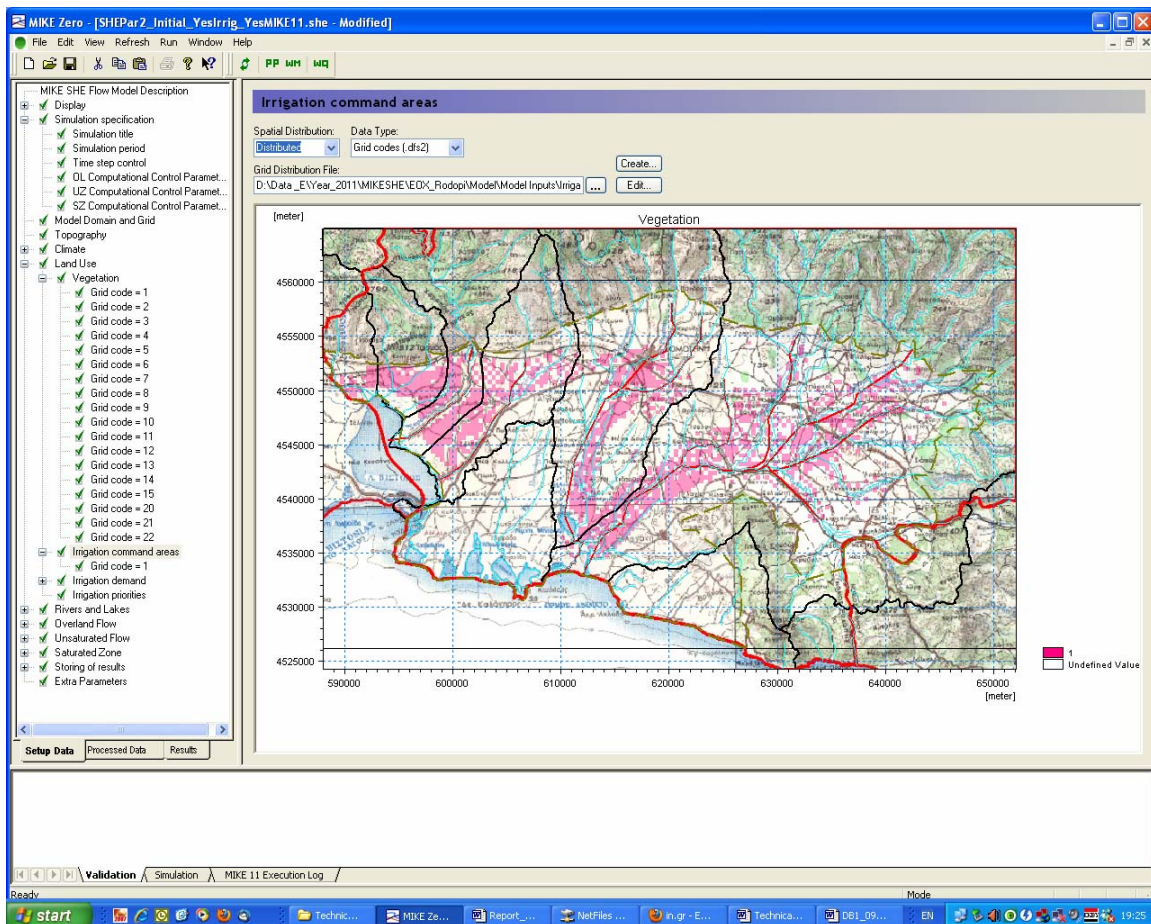
Πίνακας 2.2 Κελιά ανά καλλιέργεια και Καποδιστριακό Δήμο που εισήχθηκαν στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης

Καλλιέργεια	Αμαξάδες	Φυλλύρας	Σώστου	Σαπών	Σιδηροχ	Μαρώνειας	Κομοτηνής	Ιάσμου	Αρριανών	Αιγείρου	στρ.
Σόργο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ηλίανθος	0	2	1	7	0	5	2	8	2	6	5,280
Σόγια	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Καλαμπόκι	4	5	23	15	8	14	12	58	4	21	26,240
Ρύζι	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Φασόλια	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Καπνος Αν.	11	91	49	37	0	7	74	13	94	0	60,160
Καπνός Δυτ.	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	640
Βαμβάκι	9	33	14	112	323	332	211	241	6	367	263,680
Ζαχαρότευτλα	2	2	1	13	16	13	7	21	0	14	14,240
Λέντρα 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Λέντρα 2	0	0	22	1	0	0	1	1	0	0	4,000
Λέντρα 3	0	0	1	2	0	1	1	0	2	0	1,120
Ελιές	0	0	2	2	1	24	3	2	1	2	5,920
Τριφύλλι	2	8	8	15	2	10	15	11	8	6	13,600
Αμπέλια	0	0	0	1	0	4	1	1	1	0	1,280
Κηπευτικά	0	5	4	18	3	13	10	5	6	2	10,560
Τομάτα	1	1	2	5	7	4	4	5	0	4	5,280
Πατάτες	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	320
Σιτηρά	10	147	63	505	110	430	402	46	131	127	315,360
Οσπρια	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Κτηνοτροφικά	1	8	6	17	2	5	6	4	6	4	9,440
Συκιές	0	9	0	0	1	0	0	1	0	0	1,760
Σύνολο (στρ.)	6,400	49,760	31,360	120,320	75,680	138,080	120,000	67,040	41,760	88,480	738,880

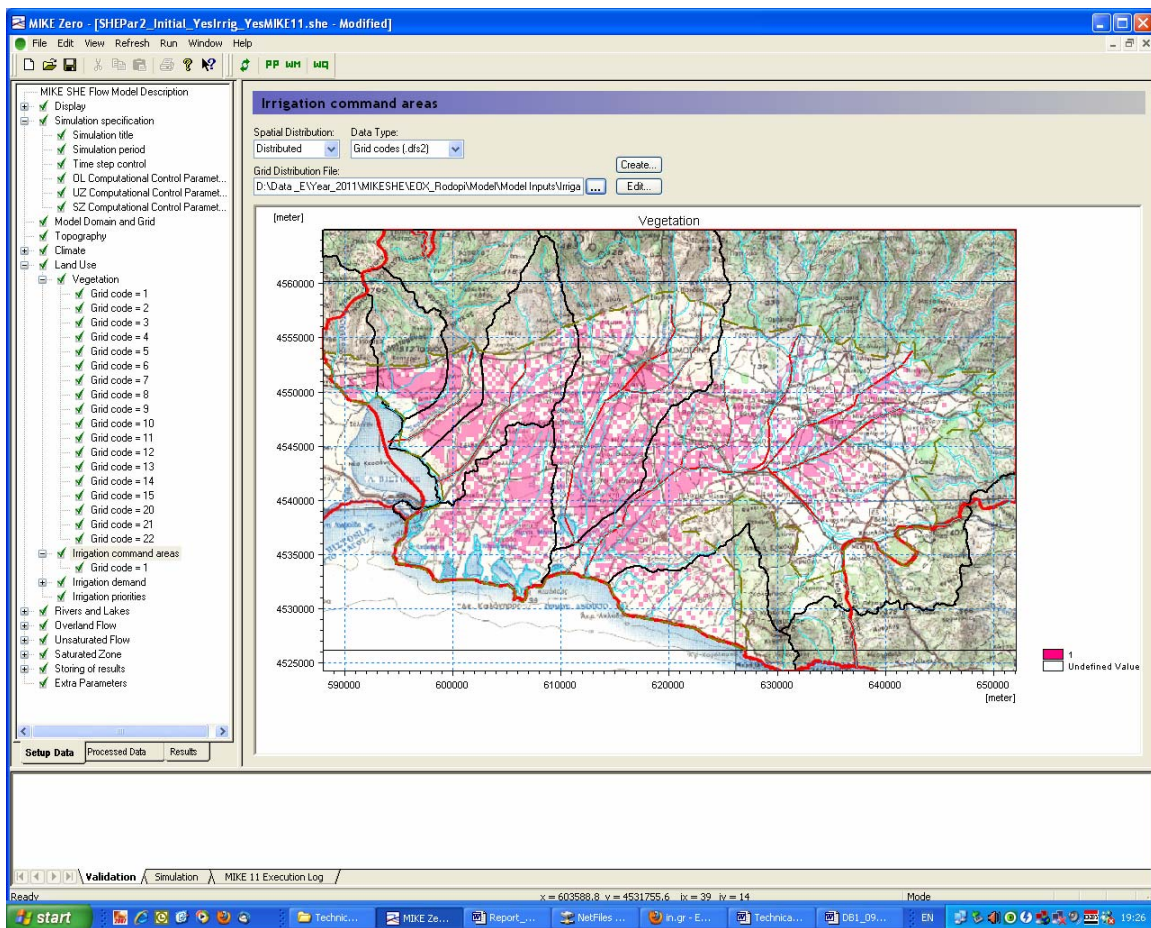
Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών και η έναρξη και λήξη της άρδευσης σε ένα κελί γίνεται από το πρόγραμμα με βάση προκαθορισμένα όρια εδαφικής υγρασίας. Συγκεκριμένα, η άρδευση σε ένα κελί αρχίζει όταν η εδαφική υγρασία φτάσει στο 10 % της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους και σταματάει όταν η υγρασία ανέλθει στα όρια της διαθέσιμης υγρασίας.

Οι καλλιέργειες οι οποίες δεν αρδεύονται είναι το σιτάρι, ο καπνός ανατολικού τύπου, ο ηλιάνθος, τα αμπέλια, και οι ελιές.

Πηγή νερού αποτελούν τα υπόγεια ύδατα. Συγκεκριμένα κατά τη δεκαετία 1981 – 1990 οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται από τον φρεάτιο υδροφορέα με αντλήσεις μέχρι βάθος 30 m. Οι περιοχές δε στις οποίες είναι δυνατή η άρδευση φαίνονται στο Σχήμα 2.7. Μετά το 1990, οι αρδεύσεις γενικεύονται με τη χρήση πλέον βαθιών αντλητικών συστημάτων και επεκτείνονται σε όλο το νομό (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.7. Χωρική κατανομή των αρδεύσεων στο νομό Ροδόπης κατά τη δεκαετία 1980 - 1990



Σχήμα 2.8. Χωρική κατανομή των αρδεύσεων στο νομό Ροδόπης μετά το 1990

2.1.5 Ροή στην επιφάνεια του εδάφους

Η ροή στην επιφάνεια του εδάφους προκαλείται σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων και εφόσον ο ρυθμός βροχής ξεπερνά το ρυθμό διήθησης του εδάφους. Το ανάγλυφο και η τραχύτητα του εδάφους καθώς επίσης οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής και διήθησης καθορίζουν τόσο τη διαδρομή όσο και την τελική ποσότητα νερού που απορρέει επιφανειακά.

Στο περιβάλλον του MIKE SHE η εν λόγω διεργασία προσομοιώνεται με μία εμπειρική σχέση μεταξύ του βάθους ροής και της κλίσης του εδάφους, σε συνδυασμό με την εξίσωση του Manning (MIKE SHE User Manual). Οι παράμετροι οι οποίες απαιτούνται ως δεδομένα εισόδου, ο συντελεστής τριβής κατά Manning (n), το αρχικό βάθος νερού στην επιφάνεια του εδάφους και η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους σε νερό (π.χ. στις εδαφικές κοιλότητες) το οποίο δεν μπορεί να απορρεύσει.

Ο αριθμός Manning (M) αντιπροσωπεύει την αντίσταση στη ροή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους και λαμβάνει μικρές τιμές όταν η αντίσταση είναι μεγάλη, π.χ. λόγω πυκνής βλάστησης στην επιφάνεια του εδάφους. Αποτελεί το αντίστροφο του πιο διαδεδομένου συντελεστή Manning $n=1/M$.

Η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους, αποτελεί επίσης καθοριστικό δεδομένο εισόδου της μεθόδου, διότι για να προκληθεί επιφανειακή απορροή, το βάθος νερού στην επιφάνεια του εδάφους πρέπει να ξεπεράσει αυτήν την τιμή. Έτσι, ο όγκος αποθήκευσης επηρεάζει και το βαθμό διήθησης του εδάφους.

Στην περίπτωση του ομοιώματος του νομού Ροδόπης, ο συντελεστής Manning εκλήφθηκε ίσος με $n=10$ σε όλη την έκταση του ομοιώματος ενώ η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους ίση με 20 mm. Όσον αφορά στο αρχικό βάθος νερού στην επιφάνεια του εδάφους, αυτό θεωρήθηκε ίσο με 0.5 m εντός των ορίων της Ισμαρίδας και 0 m για την υπόλοιπη περιοχή.

2.1.6 Ροή στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους

Στο περιβάλλον του MIKE SHE, η ροή στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους μπορεί να προσομοιωθεί με τρεις τρόπους: α) με βάση την εξίσωση Richards, β) με βάση μια απλοποιημένη προσέγγιση της κίνησης του νερού λόγω της βαρύτητας, στην οποία λαμβάνεται υπόψη μια ομοιόμορφη κατακόρυφη κλίση αγνοώντας την τριχοειδή ανύψωση και γ) μια απλή μέθοδο υδατικού ισοζυγίου δυο εδαφικών στρώσεων.

Στην περίπτωση του υδρολογικού ομοιώματος του νομού Ροδόπης, η ακόρεστη ζώνη προσομοιώνεται με τον δεύτερο τρόπο ο οποίος ενδείκνυται στις περιπτώσεις όπου επιζητείται απλώς το ισοζύγιο στην ακόρεστη ζώνη και όχι η λεπτομερής κίνηση της εδαφικής υγρασίας.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή (MIKE SHE User Manual), η κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη οφείλεται στην κλίση του υδραυλικού φορτίου h , λόγω θέσης z , και υδατικού δυναμικού ψ :

$$h = z + \psi$$

2.2

Το φορτίο λόγω θέσης z , σε ένα σημείο υπολογίζεται από την υψομετρική του διαφορά από το επίπεδο αναφοράς (όπου το z θεωρείται θετικό προς τα πάνω). Ως επίπεδο αναφοράς για το φορτίο του υδατικού δυναμικού θεωρείται η ατμοσφαιρική πίεση. Στην ακόρεστη ζώνη το υδατικό δυναμικό είναι αρνητικό λόγω φαινομένων τριχοειδούς ανύψωσης και προσρόφησης της υγρασίας από το έδαφος και τα φυτά. Στη μέθοδο αυτή η συμβολή του υδατικού δυναμικού παραλείπεται από την εξίσωση 2.2, οπότε υπό συνθήκες κατακόρυφης ροής, η κλίση του υδραυλικού φορτίου δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta h = \frac{\partial z}{\partial z} = 1 \quad 2.3$$

Στην περίπτωση αυτή, η παροχή της κατακόρυφης ροής ανά μονάδα επιφάνειας λαμβάνεται από την εξίσωση του Darcy:

$$q = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} = -K(\theta) \quad 2.4$$

Όπου $K(\theta)$ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα υπό ακόρεστες συνθήκες. Με βάση τα ανωτέρω, θεωρώντας ότι το έδαφος είναι ασυμπίεστο και ότι η πυκνότητα του νερού είναι σταθερή, η εξίσωση συνέχειας μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(z) \quad 2.5$$

Όπου S είναι η απόληψη νερού από το ριζικό σύστημα.

Στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης, η ακόρεστη ζώνη θεωρήθηκε ότι αποτελείται από ένα ομοιόμορφο έδαφος τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη διάσταση, με μέγιστο βάθος 110 m. Το βάθος αυτό επιλέχθηκε μετά από δοκιμές και είναι επαρκές ώστε να επιτρέπει την αναπαράσταση των υδρολογικών συνθηκών αφενός στις λοφώδεις περιοχές του νομού, όπου η ακόρεστη ζώνη είναι δυνατό να εκτείνεται σε μεγάλα βάθη, και αφετέρου σε περιοχές όπου παρατηρείται μεγάλη πτώση στάθμης. Ως προς την κατακόρυφη διάσταση, η ακόρεστη ζώνη διακριτοποιήθηκε σε ένα σύνολο στρώσεων (με όμοια χαρακτηριστικά) το πάχος των οποίων επιλέχθηκε ως ακολούθως:

βάθος εδάφους από 0 m έως 2 m, πάχος στρώσεων 0.2 m

βάθος εδάφους από 2 m έως 10 m, πάχος στρώσεων 1.0 m

βάθος εδάφους από 10 m έως 110 m, πάχος στρώσεων 10 m

Οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης Van Genuchten (θ_s , θ_r , n , α , l), για την εκτίμηση της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους στο ομοίωμα, ελήφθησαν από τον Παπαμιχαήλ (2007). Όπου θ_s είναι η περιεχόμενη υγρασία στον κορεσμό (cm^3/cm^3) και θ_r η υπολειματική υγρασία (cm^3/cm^3), $n(-)$, α (cm^{-1}), και l (-) παράμετροι της εξίσωσης Van Genuchten. pF_c και pF_w είναι η μύζηση στο σημείο υδατοικανότητας και μόνιμης μάρανσης αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές διατηρήθηκαν σταθερές καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και είναι :

θ_s	θ_r	n	α	l	pF_{fc}	pF_w
0,39	0,1	1,48	0,059	0,5	2,5	4,2

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό, η οποία, στην προσέγγιση που χρησιμοποιείται στο παρόν, χαρακτηρίζει τη μέγιστη διηθητική ικανότητα του εδάφους, εκλήφθηκε επίσης από τους Παπαμιχαήλ (2007), ίση με $K_s = 6.9 \times 10^{-6}$ m/s. Ο ρυθμός διήθησης καθορίζει τη σχέση μεταξύ του νερού που απορρέει επιφανειακά και του νερού που διηθείται στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους. Όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός διήθησης τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ποσότητα νερού για επιφανειακή απορροή και αντίστοιχα μειώνεται η διαθέσιμη ποσότητα νερού που διηθείται στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους.

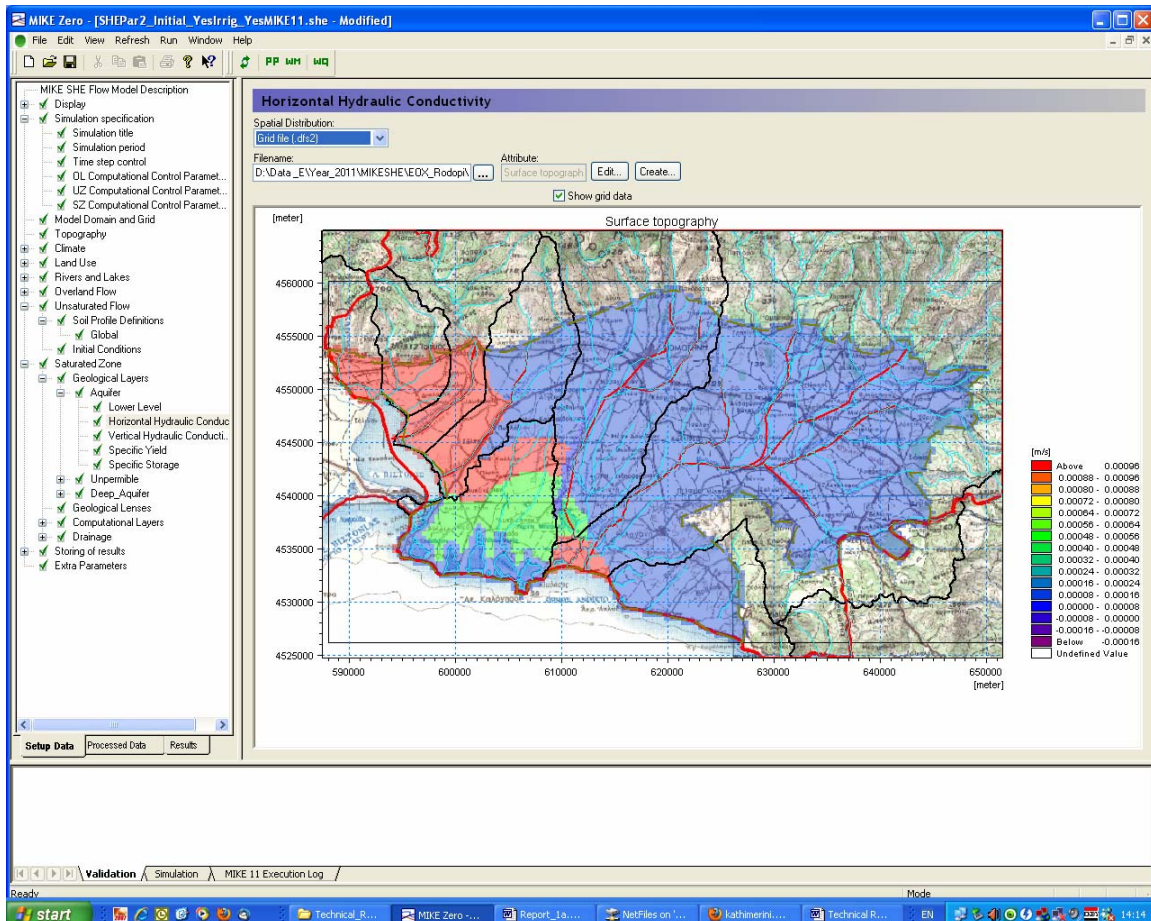
2.1.7 Ροή στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους

Με βάση την περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών (δες Κεφ.1), οι οποίες επικρατούν στο νομό, η προσομοίωση της κίνησης του νερού στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση τριών διακριτών υδροφόρων στρωμάτων ως ακολούθως:

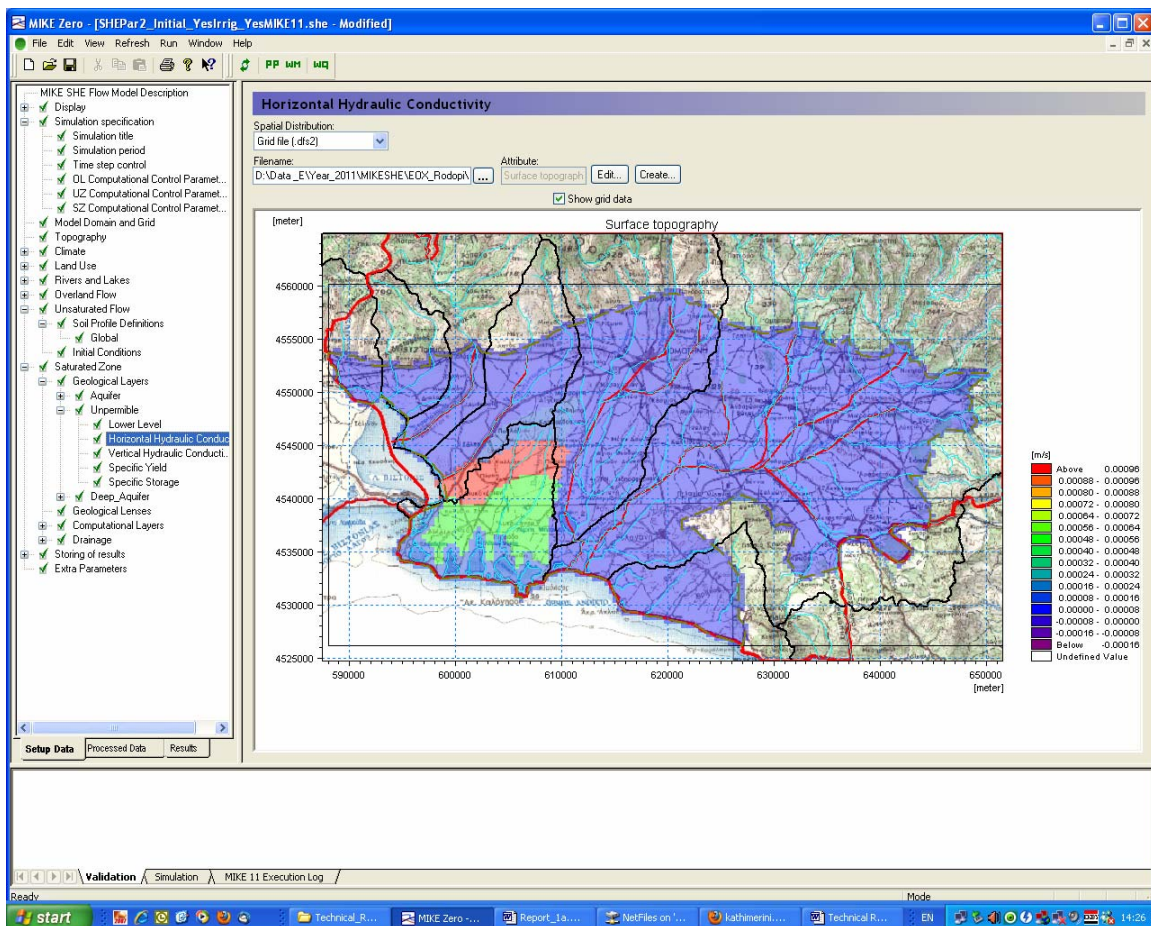
- Φρεάτιος υδροφορέας. Εκτείνεται σε ολόκληρη την έκταση του ομοιώματος από την επιφάνεια του εδάφους, έως και 30 m κάτω από αυτήν. Το πάχος του μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της υπόγειας στάθμης ενώ θεωρήθηκε ομογενής ως προς τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά. Οι τιμές της υδραυλικής του αγωγιμότητας και η χωρική της κατανομής δίνονται στο Σχήμα 2.9. Η ειδική απόδοση νερό και η αποθηκευτικότητα του εκλήφθηκαν ίσες με 0.1 και 0.0005 αντίστοιχα.
- Διαπέρατη στρώση. Εκτείνεται σε ολόκληρη την έκταση του ομοιώματος ακριβώς κάτω από τον φρεάτιο υδροφορέα και έχει ομοιόμορφο πάχος 5 m. Θεωρήθηκε ομογενής ως προς τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά. Οι τιμές της υδραυλικής του αγωγιμότητας και η χωρική της κατανομής δίνονται στο Σχήμα 2.10. Η ειδική απόδοση νερό και η αποθηκευτικότητά του εκλήφθηκαν ίσες με 0.002 και 0.0001 αντίστοιχα.
- Βαθύς υπό πίεση υδροφορέας. Εκτείνεται σε ολόκληρη την έκταση του ομοιώματος ακριβώς κάτω από την αδιαπέρατη στρώση και έχει ομοιόμορφο πάχος 45 m. Θεωρήθηκε ομογενής ως προς τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά. Οι τιμές της υδραυλικής του αγωγιμότητας και η χωρική της κατανομής δίνονται στο Σχήμα 2.11. Η ειδική απόδοση νερό και η αποθηκευτικότητά του εκλήφθηκαν ίσες με 0.1 και 0.0005 αντίστοιχα.

Και στους τρεις ανωτέρω υδροφορείς, λήφθηκε υπόψη το γεωλογικό ρήγμα που υπάρχει στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Βοσπόζη και το οποίο απομονώνει υδραυλικά την ομώνυμη υδρογεωλογική λεκάνη με τη γειτονική η οποία εκτείνεται στα δυτικά της. Το ρήγμα αυτό ξεκινάει δυτικά της Ισμαρίδας σε μικρή απόσταση και ακολουθεί παράλληλα την κοίτη του ποταμού Βοσπόζη έως και το ύψος του οικισμού της Παραδημής. Το πάχος του στο υδρολογικό ομοίωμα (κατά την οριζόντια διάσταση), εκλήφθηκε ίσο με δυο κελιά (περίπου 800 m), ενώ όσον αφορά στο βάθος του αυτό

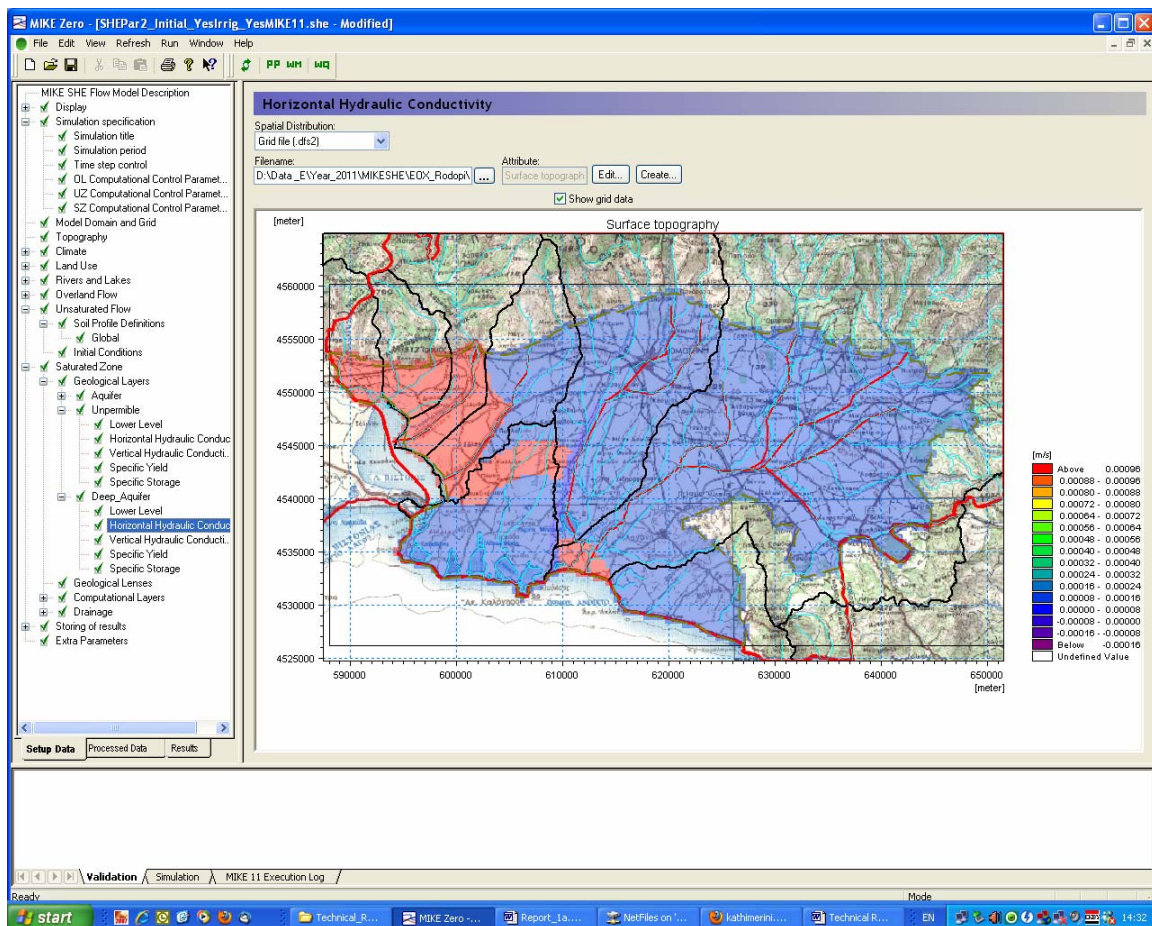
διατρέχει και τους τρεις υδροφορείς. Η υδραυλική αγωγιμότητα στα κελιά τα οποία αναπαριστούν το ρήγμα, εκλήφθηκε ίση με $k=10^{-9}$ m/s .



Σχήμα 2.9. Χωρική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας k (m/s), του φρεάτιου υδροφορέα στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης. (κόκκινο χρώμα $k=0.001$, πράσινο χρώμα $k=0.0005$, γαλάζιο χρώμα $k=0.0001$).



Σχήμα 2.10. Χωρική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας k (m/s), του φρεάτιου υδροφορέα στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης. (κόκκινο χρώμα $k=0.001$, πράσινο χρώμα $k=0.0005$, γαλάζιο χρώμα $k=1 \times 10^{-9}$).



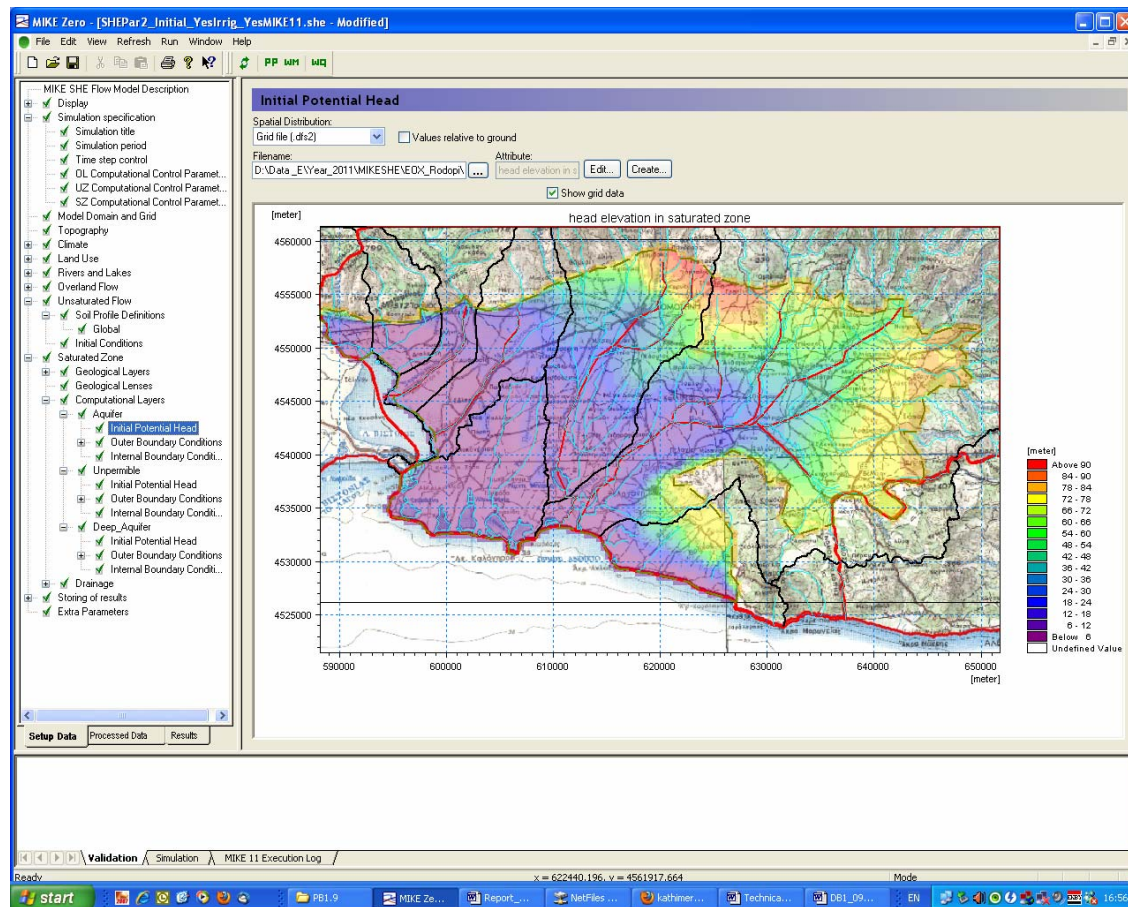
Σχήμα 2.11. Χωρική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας k (m/s), του υπό πίεση υδροφορέα στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης. (κόκκινο χρώμα $k=0.001$, πράσινο χρώμα $k=0.0005$, γαλάζιο χρώμα $k=0.0001$).

2.1.8 Αρχικές συνθήκες του ομοιώματος

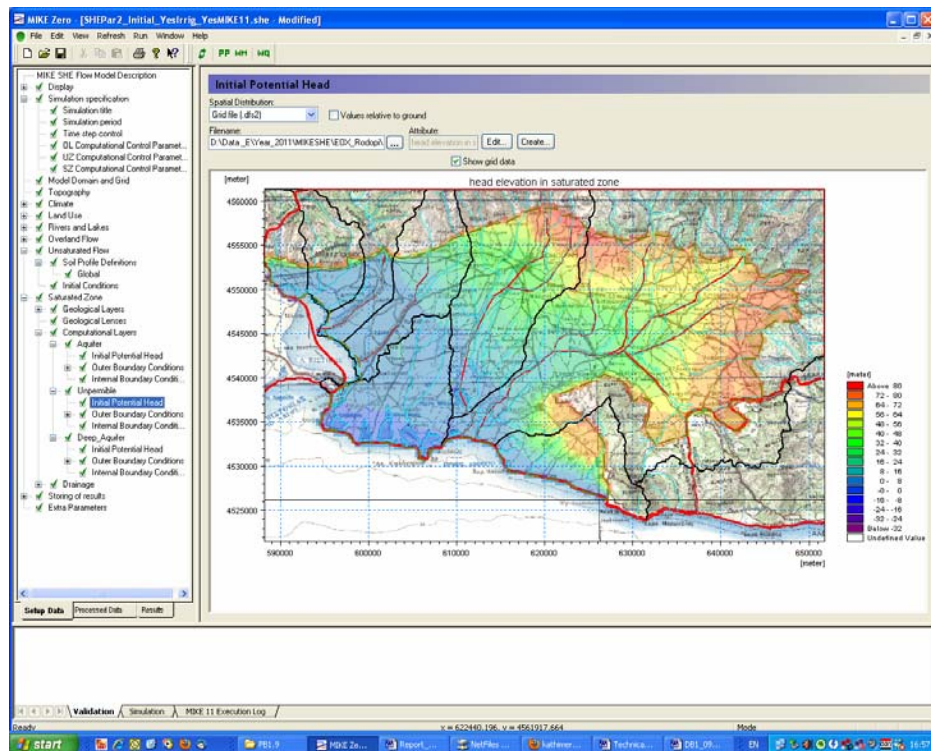
Η περίοδος ανάπτυξης του υδρολογικού ομοιώματος του νομού Ροδόπης ξεκινάει από τις αρχές της δεκαετίας του 80' (Ιανουάριος του 1981). Έως και την περίοδο αυτή, η αρδευόμενη γεωργία στο νομό ασκούνταν σε περιορισμένο βαθμό, με μικρά αντλητικά συγκροτήματα (της τάξης μερικών κυβικών μέτρων την ώρα) και σε περιοχές με υψηλή σχετικά υπόγεια στάθμη (< 10 m από την επιφάνεια του εδάφους). Κατά συνέπεια για την αρχική αυτή περίοδο θα μπορούσε γίνει η παραδοχή ότι η επίδραση των αρδεύσεων έως και τότε ήταν αμελητέα και ως εκ τούτου η υπόγεια στάθμη σε ολόκληρο το νομό διαμορφώνονταν με βάση τη βροχόπτωση και το ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής. Με βάση την παραδοχή αυτή και προκειμένου να αποκτηθούν οι αρχικές συνθήκες όσον αφορά τη φρεατία στάθμη και το πιεζομετρικό φορτίο της αδιαπέρατης στρώσης και του βαθύ υπό πίεση υδροφορέα, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Θεωρήθηκε ότι αρχικώς η φρεάτια στάθμη βρίσκεται σε βάθος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ολόκληρη η περιοχή του ομοιώματος στραγγίζονταν από το υδρογραφικό δίκτυο.
- Το πιεζομετρικό φορτίο τόσο της αδιαπέρατης στρώσης όσο και του βαθύ υπό πίεση υδροφορέα θεωρήθηκε ότι βρίσκονταν ελαφρώς πάνω από το άνω όριο της αδιαπέρατης στρώσης
- Το ομοίωμα εκτελέστηκε υπό τις ανωτέρω συνθήκες για τριάντα χρόνια (από 1/1/1981 έως 31/4/2009).

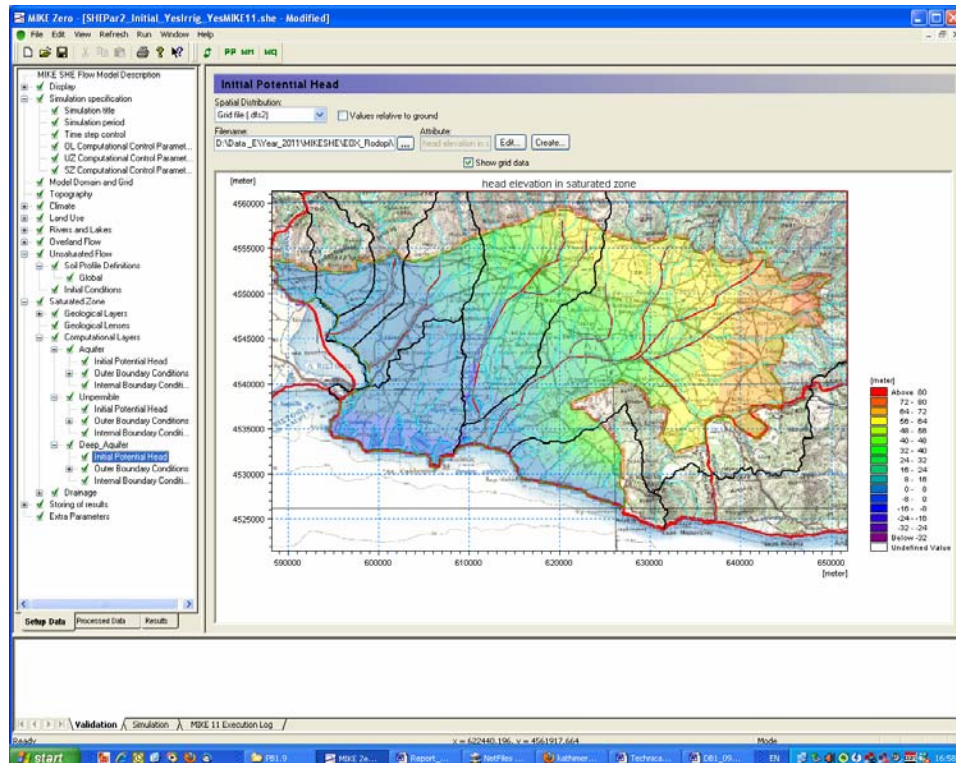
Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της ανωτέρω διαδικασίας επιλέχθηκαν ως αρχικές συνθήκες φρεάτιας στάθμης και πιεζομετρικού φορτίου για τα υποκείμενα υδροφόρα στρώματα, όταν οι αντίστοιχες ετήσιες μεταβολές τους έφτασαν σε σημείο ισορροπίας (Σχήματα 2.12 έως 2.14).



Σχήμα 2.12. Αρχική συνθήκη της υπόγειας στάθμης στον φρεάτιο υδροφορέα



Σχήμα 2.13. Αρχική συνθήκη του πιεζομετρικού φορτίου στην αδιαπέρατη στρώση

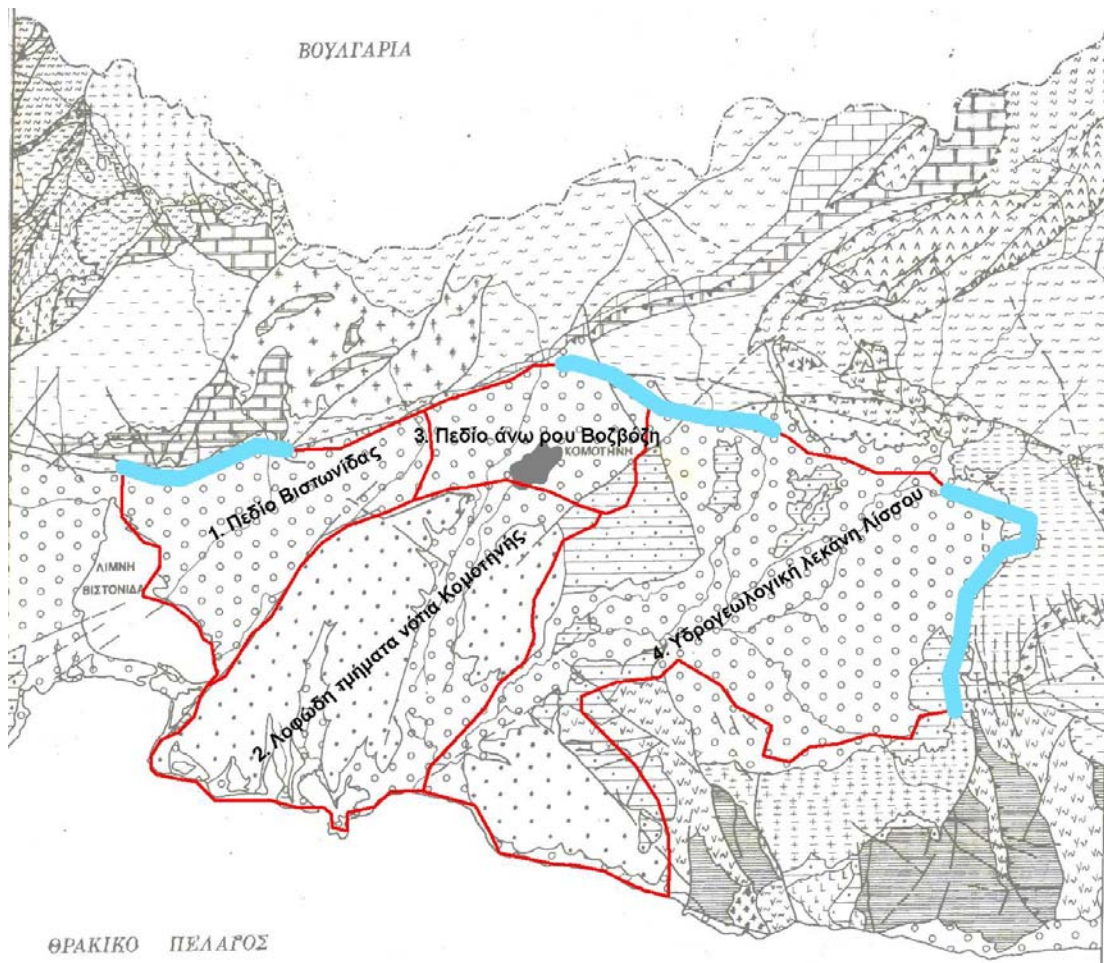


Σχήμα 2.14. Αρχική συνθήκη του πιεζομετρικού φορτίου στον βαθύ υπό πίεση υδροφόρα

2.1.9 Οριακές συνθήκες του ομοιώματος

Το σύστημα MIKE SHE/MIKE 11 δίνει τη δυνατότητα των ακόλουθων οριακών συνθηκών όσον αφορά στη κίνηση του νερό στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους: α) μηδενική ροής, β) σταθερού πιεζομετρικού φορτίου, γ) καθορισμένης ροής και δ) καθορισμένης κλίσης υδραυλικού φορτίου.

Στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες οριακές συνθήκες (Σχήμα 2.15):



Σχήμα 2.15. Περιοχές πλευρικής εισροής νερού από τον ορεινό όγκο στα υπόγεια ύδατα του Ν. Ροδόπης (υπόβαθρο: γεωλογικός χάρτης από Διαμαντή, 1991).

Φρεάτιος Υδροφορέας

- Σταθερού πιεζομετρικού φορτίου. Εφαρμόστηκε κατά μήκος των ακτών του νομού, καθώς και κατά μήκος των ορίων του ομοιώματος με τη Βιστωνίδα και εκλήφθηκε ίσο με 0 m.
- Καθορισμένης ροής. Εφαρμόστηκε στις περιοχές (δες Σχήμα 2.15 με μπλε χρώμα), όπου στις ορεινές υπολεκάνες του νομού βρίσκονται διαπερατά πετρώματα επιτρέποντας τον εμπλουτισμό των υδροφόρων στρωμάτων τα οποία εκτείνονται στο πεδινό του τμήμα. Στις περιπτώσεις αυτές, οι οριακές συνθήκες δόθηκαν με τη μορφή χρονοσειράς τιμών θετικής παροχής ίσης με το 1/3 της βασικής απορροής των ανάντη ορεινών υπολεκανών.
- Μηδενικής ροής. Εφαρμόστηκε στις περιοχές όπου το πεδινό τμήμα του νομού έρχεται σε επαφή με αδιαπέρατους σχηματισμούς της οροσειράς της Ροδόπης.

Αδιαπέρατη στρώση & Βαθύς υπό πίεση υδροφορέας

- Σταθερού πιεζομετρικού φορτίου. Εφαρμόστηκε κατά μήκος των ακτών του νομού, καθώς και κατά μήκος των ορίων του ομοιώματος με τη Βιστωνίδα και εκλήφθηκε ίσο με 0 m.
- Μηδενικής ροής. Εφαρμόστηκε σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές

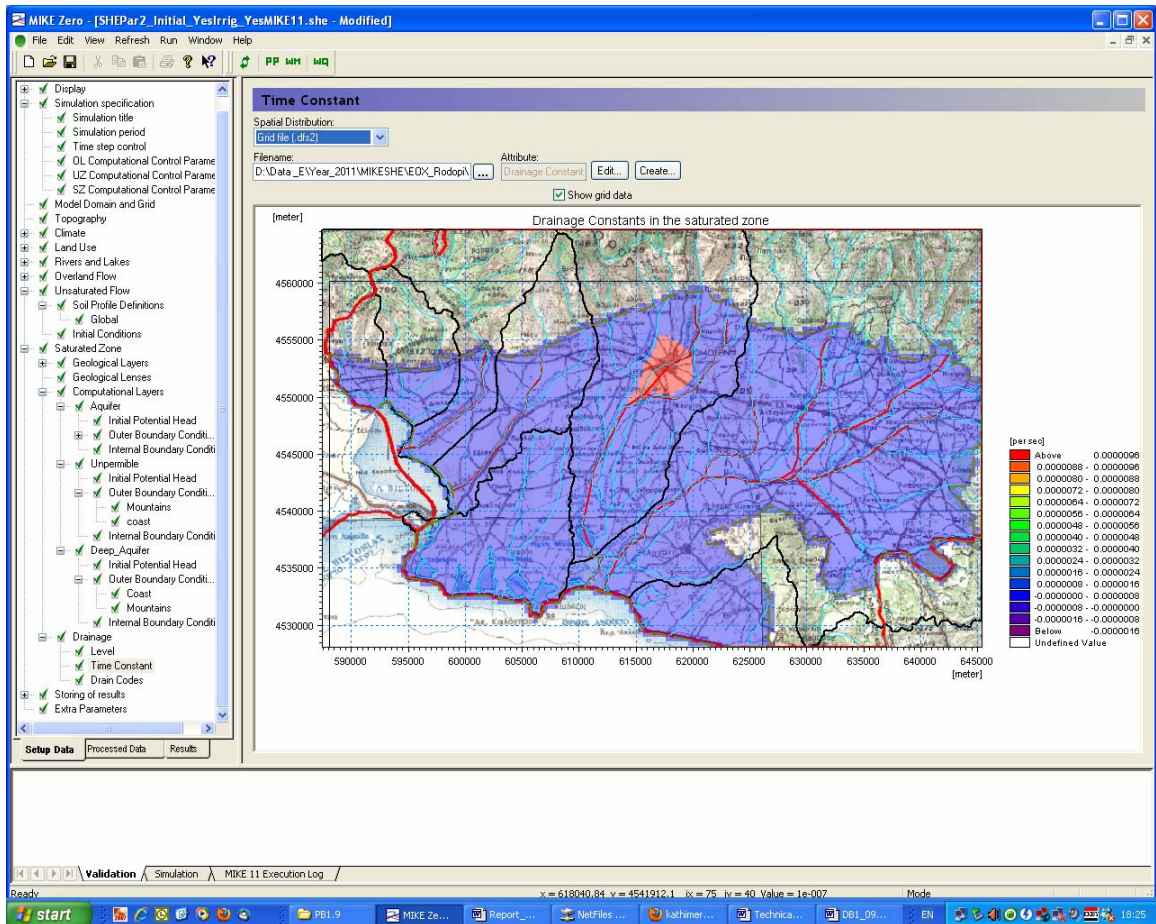
2.1.10 Στράγγιση

Η επιφανειακή στράγγιση αποτελεί ειδική οριακή συνθήκη στο περιβάλλον του MIKE SHE και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στο επιφανειακό τμήμα της κορεσμένης ζώνης. Το νερό το οποίο απομακρύνεται με τη στράγγιση διοχετεύεται στα πλησιέστερα επιφανειακά υδάτινα σώματα (π.χ. ποταμούς, λίμνες κ.λ.π.) ή εκτός του ομοιώματος.

Η στράγγιση προσομοιώνεται με τη χρήση μιας εμπειρικής εξίσωσης, η οποία απαιτεί για κάθε κελί, να είναι γνωστά: α) το βάθος στράγγισης και β) μια χρονική σταθερά η οποία σχετίζεται με την ταχύτητα απομάκρυνσης του νερού μέσω του στραγγιστικού δικτύου.

Στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης το βάθος στράγγισης λήφθηκε ίσο με 1 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε ολόκληρη την έκταση του ομοιώματος, εκτός από τις περιοχές όπου κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα το βάθος αυτό να βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας (παράκτιες περιοχές). Στις περιοχές αυτές το βάθος στράγγισης εκλήφθηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο στράγγισης να βρίσκεται πάντοτε πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Όσον αφορά στη χρονική σταθερά απομάκρυνσης του νερού μέσω του στραγγιστικού δικτύου αυτή εκλήφθηκε ίση με $1 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$. Μεγαλύτερες τιμές προκαλούσαν πλημμυρικές παροχές στα υδατορεύματα στα οποία κατέληγαν τα ύδατα στράγγισης. Στην περιοχή του οικοδομικού συγκροτήματος της Κομοτηνής η εν λόγω χρονική σταθερά ορίστηκε ίση με $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (δες Σχήμα 2.16), ώστε με τον τρόπο αυτό να αναπαρίσταται επαρκώς η σχετικά γρήγορη (σε σχέση με την στράγγιση), απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων μέσω του αποχετευτικού δικτύου όμβριων υδάτων της πόλης..



Σχήμα 2.16. Χωρική κατανομή των τιμών της χρονικής σταθεράς για την απομάκρυνση των υδάτων μέσω του δικτύου στράγγισης στο νομό Ροδόπης

2.2 Εγκατάσταση του MIKE 11 στο νομό Ροδόπης

Η κίνηση του νερού σε ανοιχτούς αγωγούς όπως είναι οι διώρυγες και οι ποταμοί, προσομοιώνεται στο περιβάλλον του MIKE 11 με την επίλυση των εξισώσεων Saint-Venant, οι οποίες γράφονται:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad 2.6$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad 2.7$$

όπου:

- Q : παροχή του υδάτινου μέσου (m³/s)
- A : εμβαδόν περιβρεχόμενης περιμέτρου (m²)
- q : πλάγια εισροή στο υδάτινο μέσο m²/s)
- h : υψόμετρο της επιφάνειας του νερού από το επίπεδο αναφοράς (m)
- x : διεύθυνση κατά μήκος της ροής του νερού (m)
- t : χρόνος (s)
- n : συντελεστής τριβής Manning (s/m^{1/3})
- R : υδραυλική ακτίνα (m)
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας (m²/s)
- a : συντελεστής κατανομής της ταχύτητας (-), ο οποίος εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η κάθετα ανομοιόμορφη κατανομή της ταχύτητας σε μια συγκεκριμένη διατομή.

Ο υπολογισμός του βάθους ροής και της παροχής κατά μήκος της κοίτης των ποταμών γίνεται με την επίλυση των εξισώσεων (2.6) και (2.7) σε ένα μονοδιάστατο υπολογιστικό δίκτυο ενός πεπλεγμένου σχήματος πεπερασμένων διαφορών.

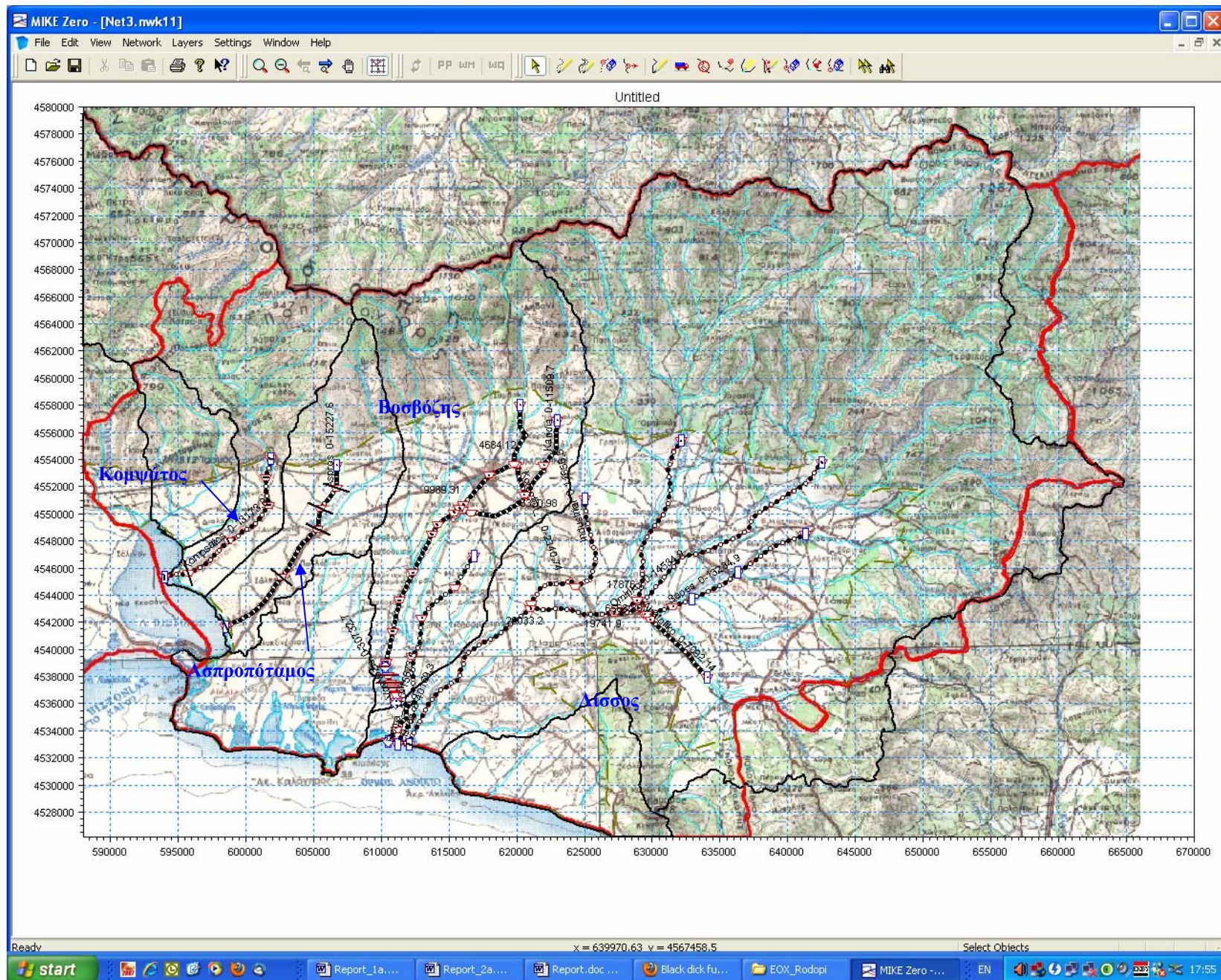
Οι ποταμοί του νομού Ροδόπης οι οποίοι εισήχθηκαν στο ομοίωμα είναι ο Κομψάτος, ο Ασπροπόταμος, ο Βοσβόζης και ο Λίσσος (Πίνακας 2.3 & Σχήμα 2.17). Οι ποταμοί αυτοί μαζί με τους κύριους παραποτάμους τους, εισήχθηκαν στο MIKE 11 λαμβάνοντας υπόψη το ψηφιακό ομοίωμα ανάγλυφου του νομού, το οποίο χρησιμοποιείται από το MIKE SHE (Σχήμα 2.18). Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα, η θέση και η κλίση τους εξασφαλίζουν την πλήρη συμβατότητα και υδραυλική επικοινωνία μεταξύ MIKE SHE και MIKE 11.

Μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ποταμών τα οποία εισάγονται στο ομοίωμα εκτός από την οριζοντιογραφία τους, δίνονται αντιπροσωπευτικές τομές της κοίτης τους συνοδευόμενες με το υψόμετρό τους (λαμβάνεται από το ψηφιακό ομοίωμα του ανάγλυφου του MIKE SHE). Στο Σχήμα 2.19 δίνονται οι τομές μέσω των οποίων αναπαραστάθηκε η Λίμνη Ισμαρίδα.

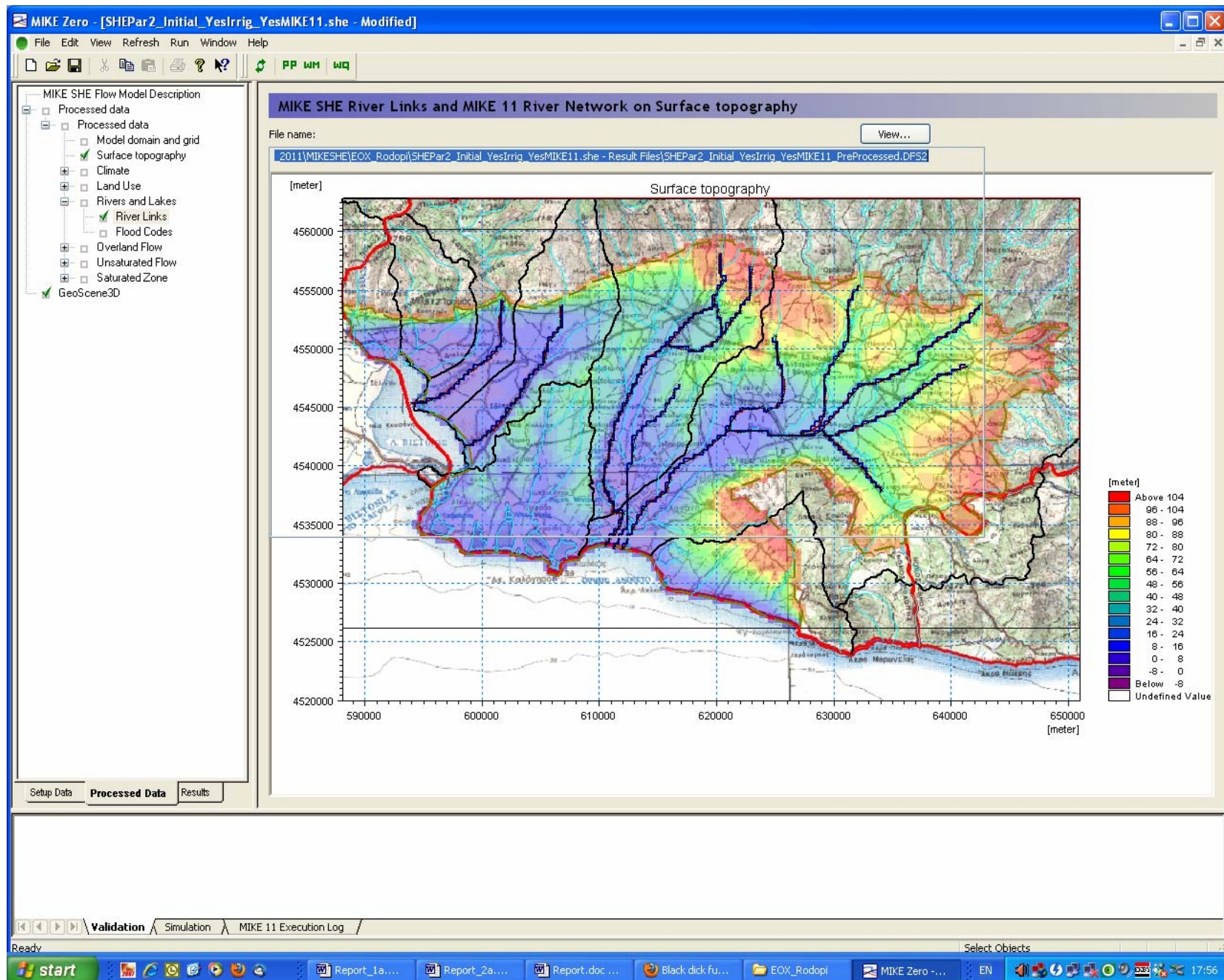
Σχήματα 2.20 έως 2.23 δίνονται οι μηκοτομές της κοίτης των ποταμών, εντός των ορίων του λεπτομερούς ομοιώματος MIKE SHE.

Πίνακας 2.3. Ποταμοί, παραπόταμοί τους με τα αντίστοιχα μήκη τους που εισήχθηκαν στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης.

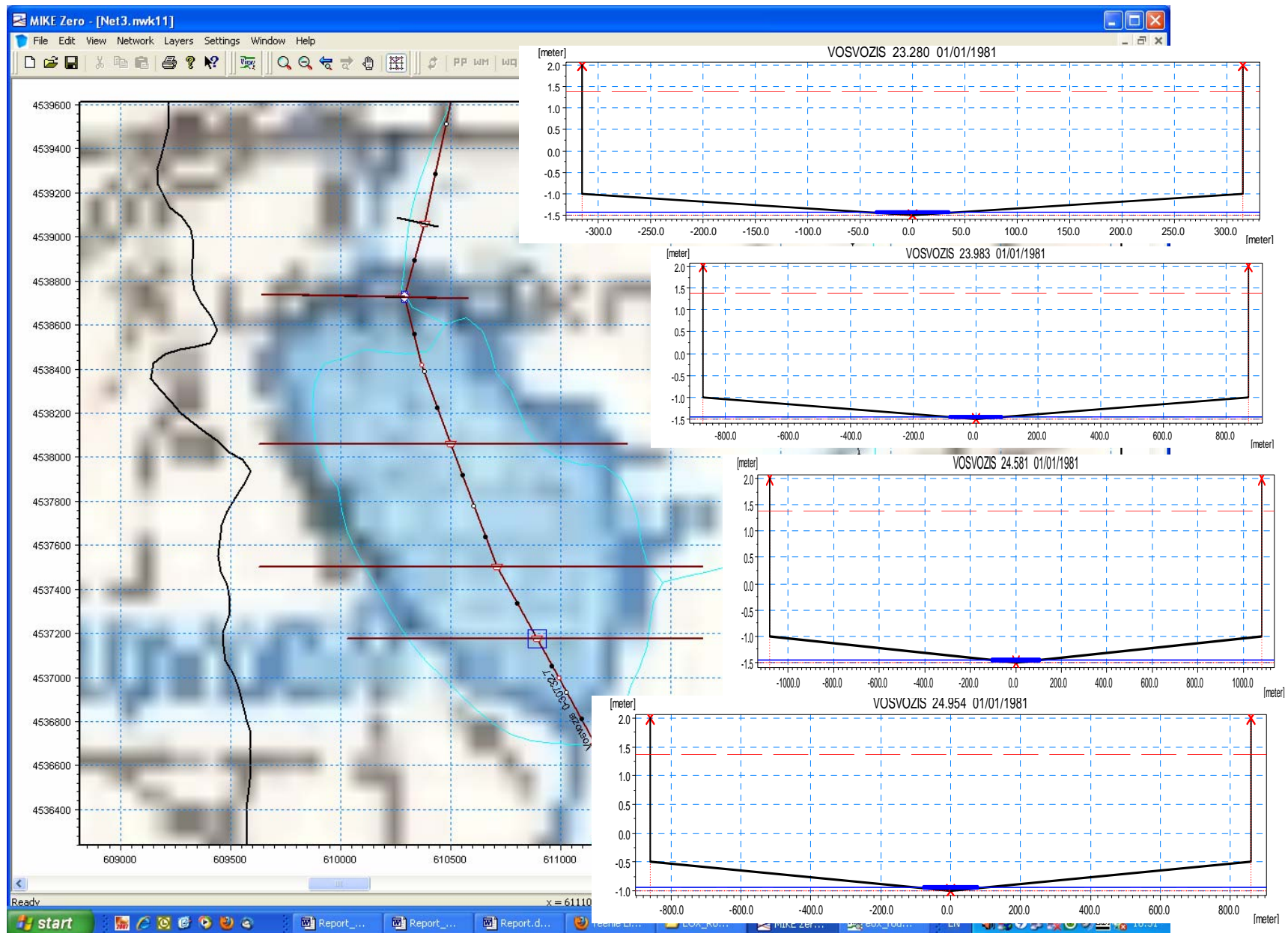
Ποταμός	Παραπόταμοι	Μήκος, m
Κομψάτος		13,173.00
Ασπροπόταμος		15,227.00
Βοσβόζης		30,732.00
Βοσβόζης	Ρέμα Καρυδιάς	11,509.00
Ρέμα		15,873.00
Λίσσος		40,169.00
Λίσσος	Βιομηχανικό	11,656.00
	Ομηρικό	14534.00
	Σαπών	13,284.00
	Ανατολικό	7,092.00



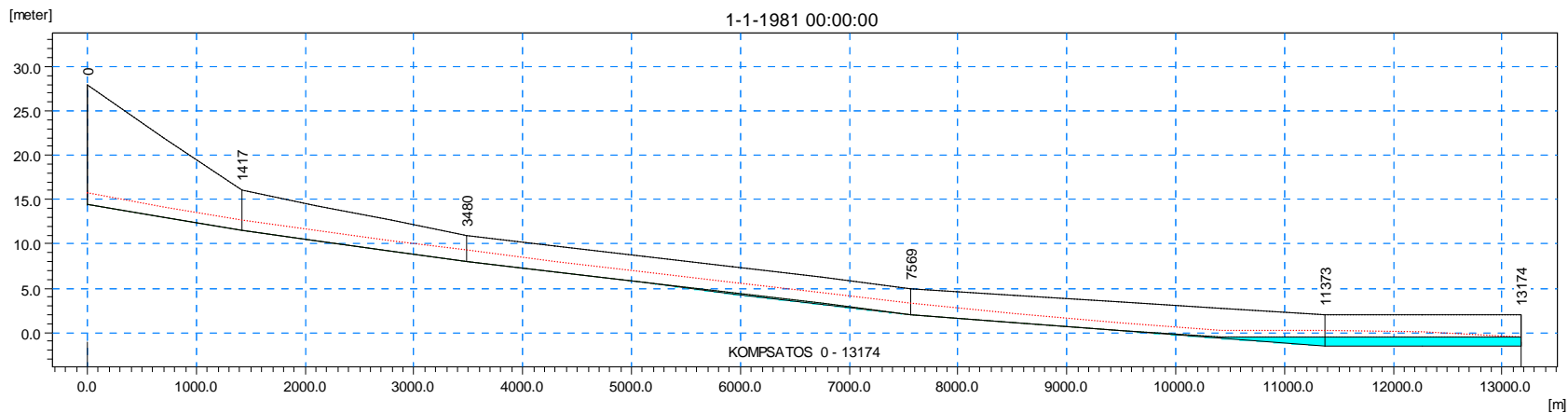
Σχήμα 2.17. Οριζοντιογραφία με τους ποταμούς οι οποίοι εισήχθηκαν στο περιβάλλον του MIKE 11.



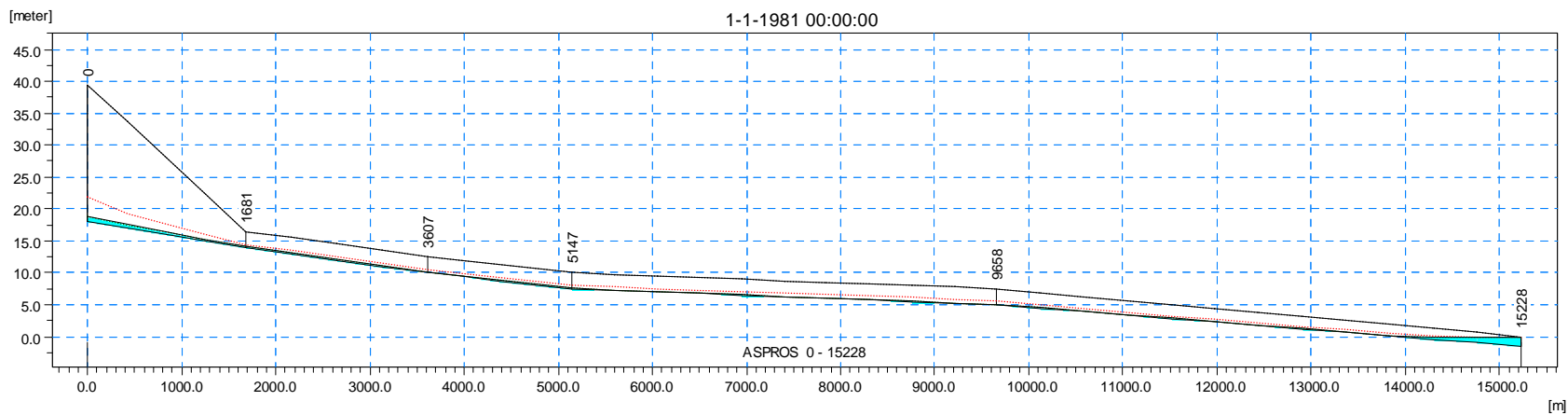
Σχήμα 2.18 Ενσωμάτωση των ποταμών και παραποτάμων τους στο περιβάλλον του MIKE SHE



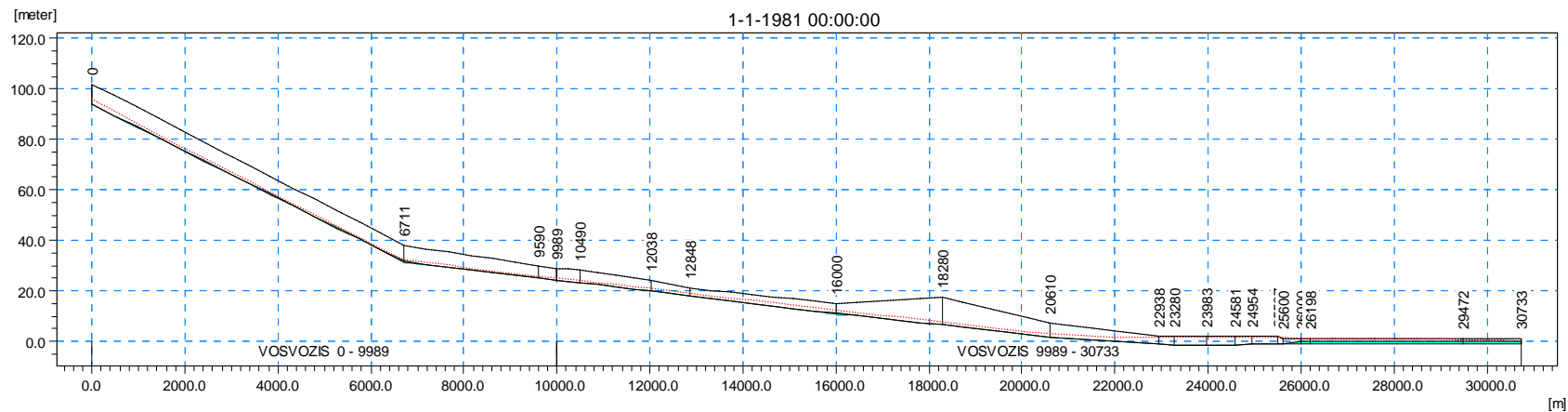
Σχήμα 2.19. Τομές της κοίτης του Βοσπόζι για την αναπαράσταση της γεωμετρίας της Λίμνης Ισμαρίδας.



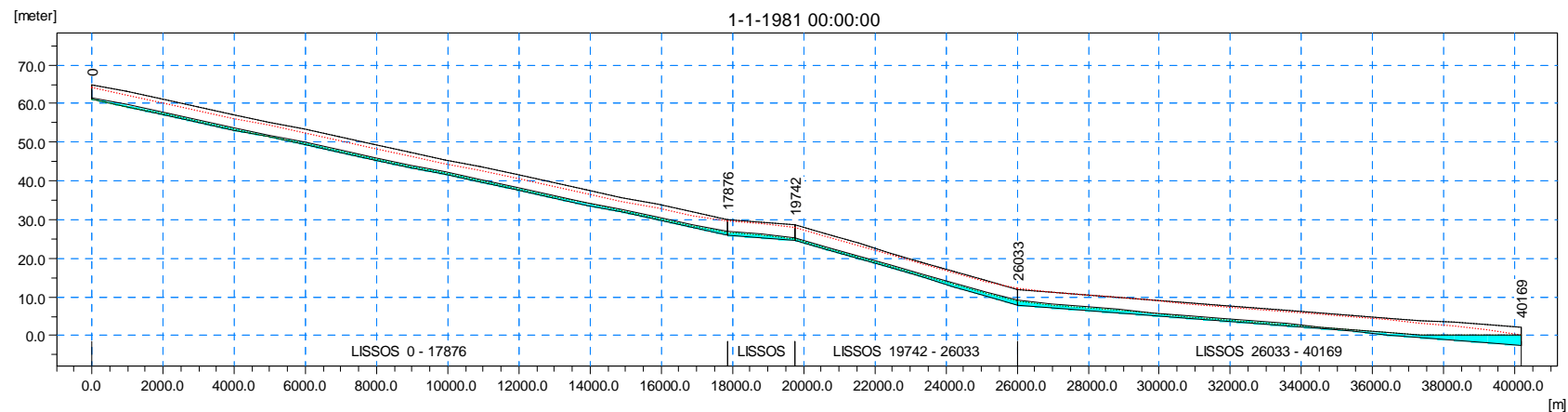
Σχήμα 2.20. Κατά μήκος τομή του Κομψάτου



Σχήμα 2.21. Κατά μήκος τομή του Ασπροπόταμου



Σχήμα 2.22. Κατά μήκος τομή του Βοσπόζη



Σχήμα 2.23. Κατά μήκος τομή του Λίσσου

2.2.1 Οριακές συνθήκες

Οι οριακές συνθήκες που εισάγονται στο ομοίωμα για την επίλυση των εξισώσεων (2.6) και (2.7) εφαρμόζονται στο ανάντη και στο κατόντη όριο όλων των ποταμών που εισήχθησαν στο ομοίωμα.

Στις εκβολές των ποταμών (κατόντη όριο), εισάγεται σταθερή τιμή του υψόμετρου της ελεύθερης επιφάνειας του νερού $h=0$ m, τιμή ίση με την επιφάνεια του υψόμετρου της θάλασσας

Στην αρχή κάθε ποταμού (ανάντη όρια), εισήχθησαν οι ακόλουθες οριακές συνθήκες:

- Το σύνολο της απορροής από τις ανάντη ορεινές υπολεκάνες τους (Σχήμα 2.24). Τέτοιες περιπτώσεις ήταν ο Ασπροπόταμος, ο Βοσβόζης, ο κύριος κλάδος του Λίσσου και ο παραπόταμός του Ανατολικό (Πίνακας 2.4). Στις περιπτώσεις αυτές, το MIKE 11 τροφοδοτείται αυτόματα με τις υπολογιζόμενες τιμές της απορροής από το NAM module (δες επόμενη παρ.).

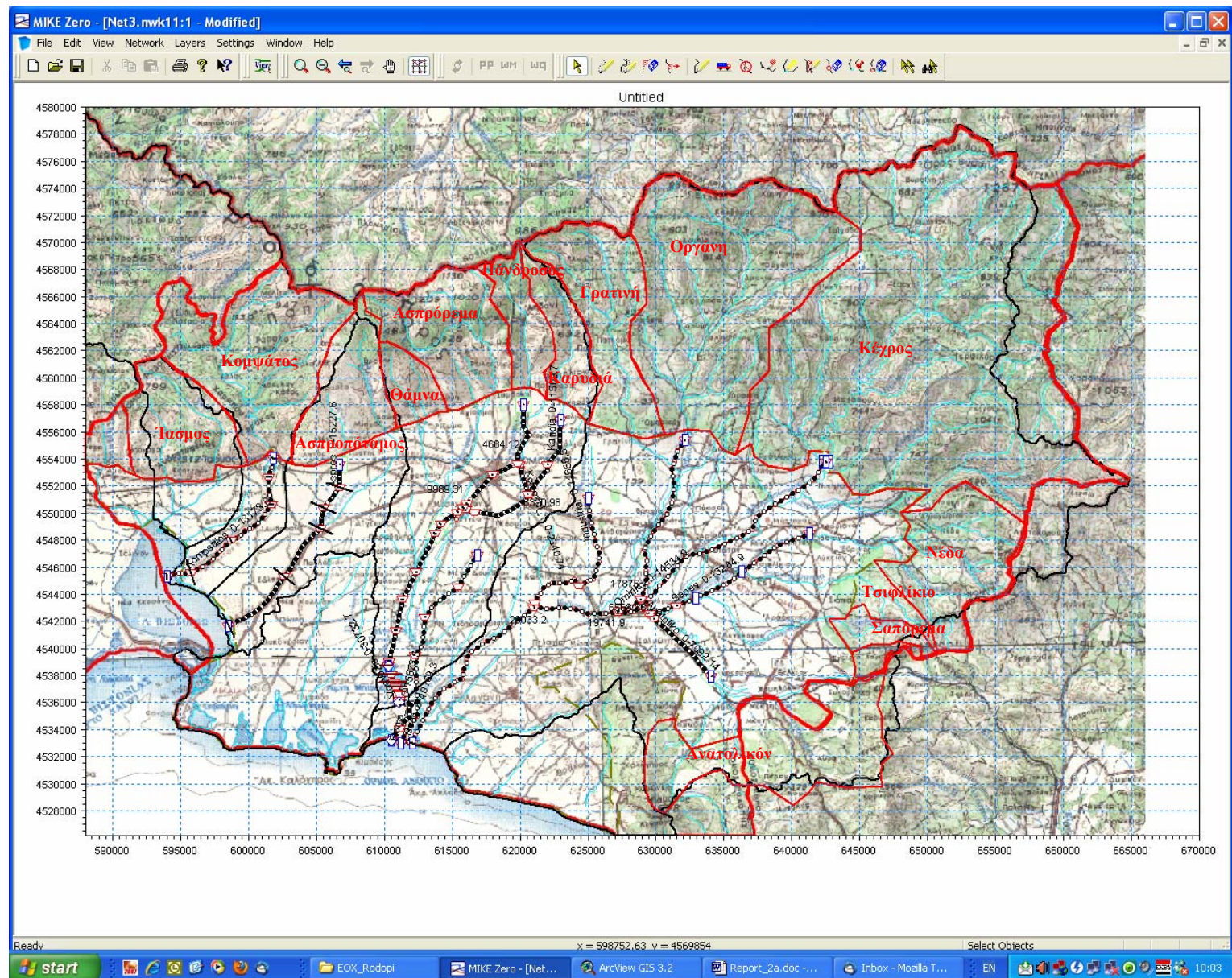
Πίνακας 2.4. Ποταμοί, παραπόταμοί τους και ορεινές τους υπολεκάνες, η απορροή των οποίων εισήχθηκε ως οριακή συνθήκη

Ποταμός	Παραπόταμος	Ορεινή Υπολεκάνη
Ασπροπόταμος		Ασπροπόταμου
Βοσβόζης		Θάμνα
		Ασπρόρεμα
		Πάνδροσος
Λίσσος		Κέχρος
Λίσσος	Ανατολικό	Ανατολικό

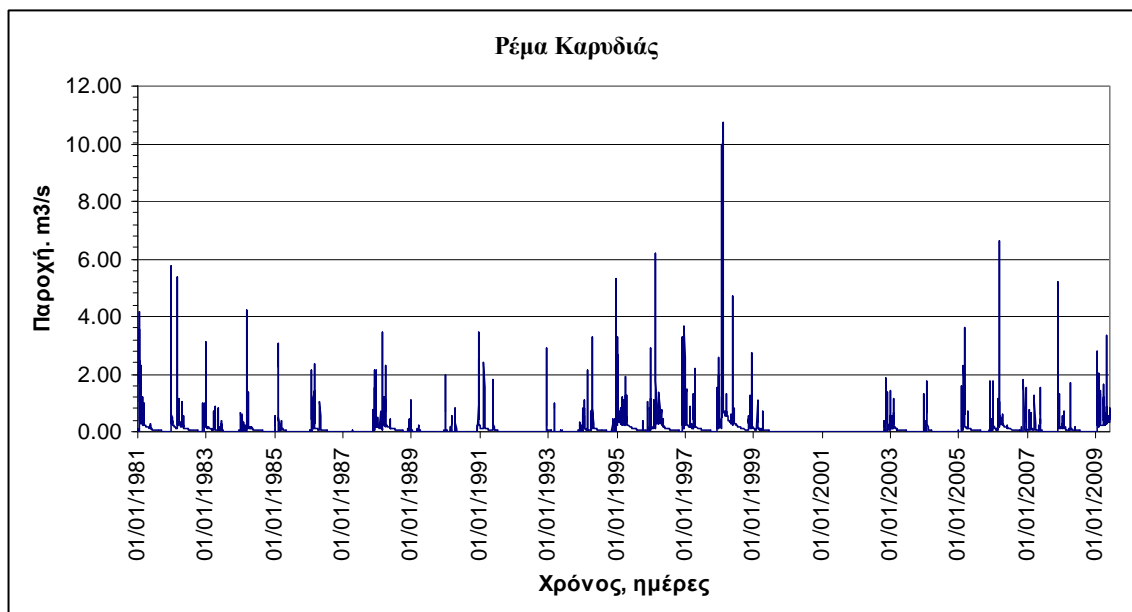
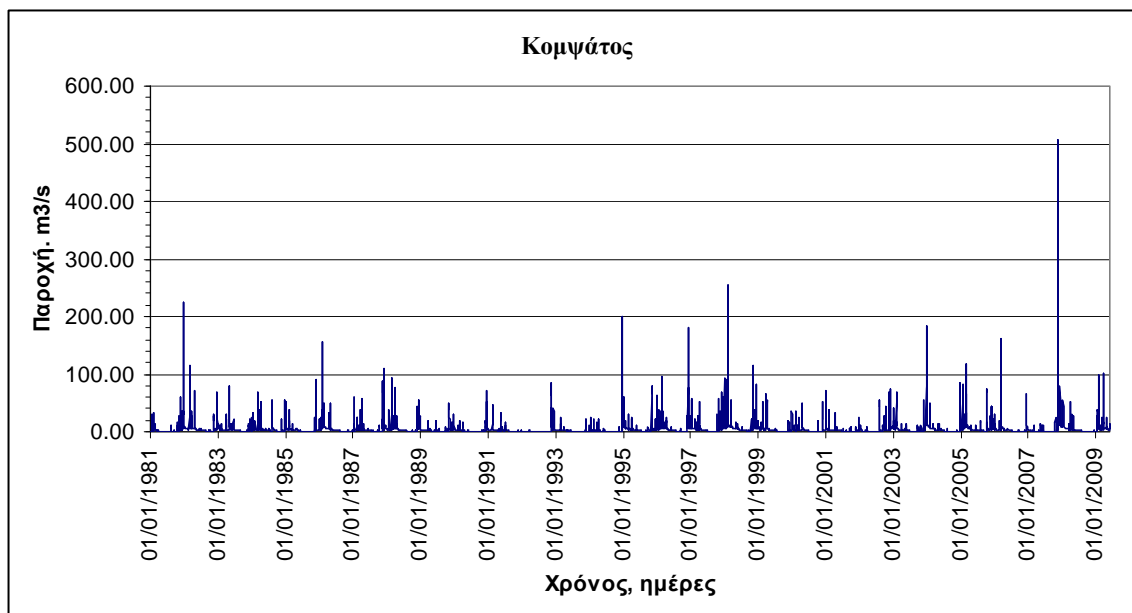
- Το σύνολο της επιφανειακής απορροής καθώς και μέρος της βασικής απορροής από τις ανάντη ορεινές υπολεκάνες του κάθε ποταμού (Σχήμα 2.24), Τέτοιες περιπτώσεις ήταν ο Κομψάτος, το ρέμα της Καρυδιάς, και παραπόταμοι του Λίσσου πλην του ρέματος Ανατολικό (Πίνακας 2.5). Στις περιπτώσεις αυτές οι οριακές συνθήκες έχουν προϋπολογισθεί (με τη χρήση του NAM) και δίνονται ως χρονοσειρές (Σχήματα 2.25 έως 2.27).

Πίνακας 2.5. Ποταμοί, παραπόταμοί τους και ορεινές τους υπολεκάνες, μέρος της απορροής των οποίων εισήχθηκε ως οριακή συνθήκη

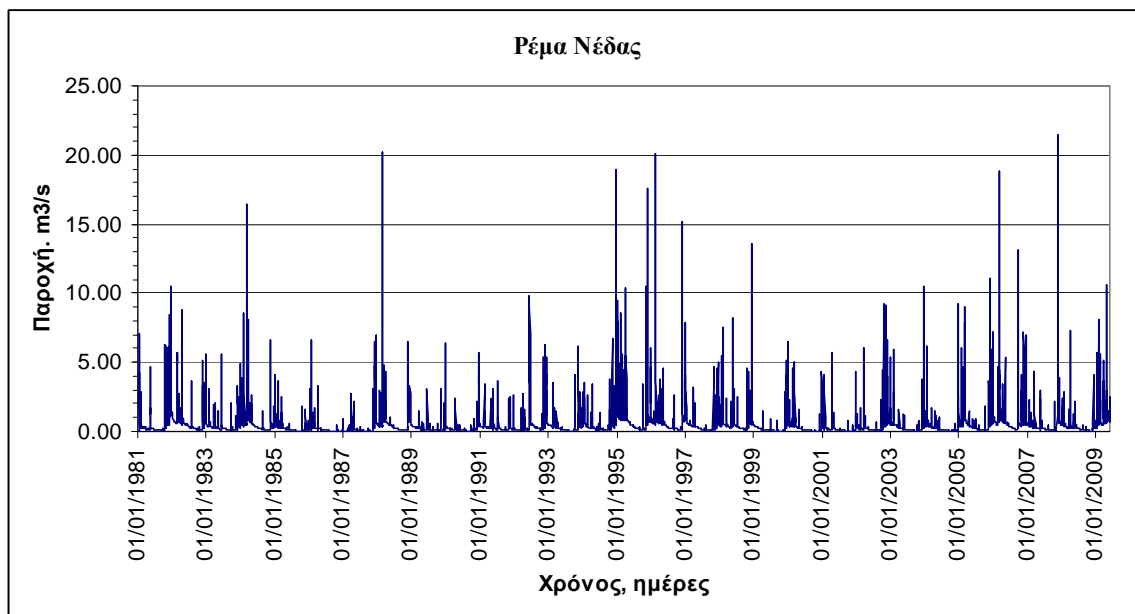
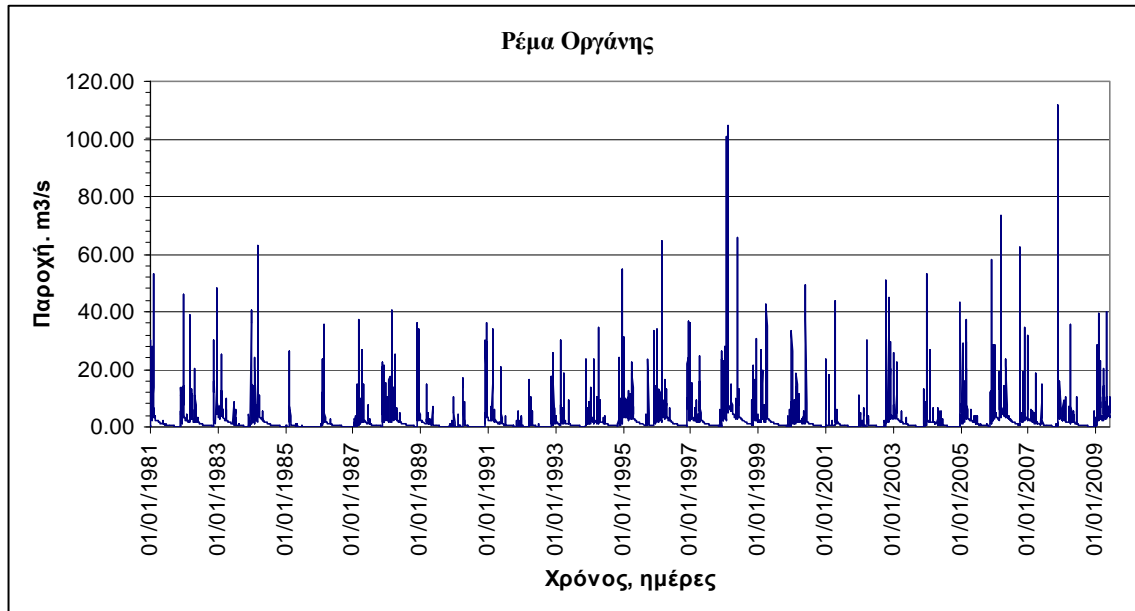
Ποταμός	Παραπόταμος	Ορεινή Υπολεκάνη
Κομψάτος		Κομψάτος
Βοσβόζης	Καρυδιά	Καρυδιά
Λίσσος	Ομηρικό	Οργάνη
Λίσσος	Ρέμα Σαπών	Νέδα
Λίσσος	Ρέμα Σαπών	Σαπόρεμα
Λίσσος	Ρέμα Σαπών	Τσιφλίκιο



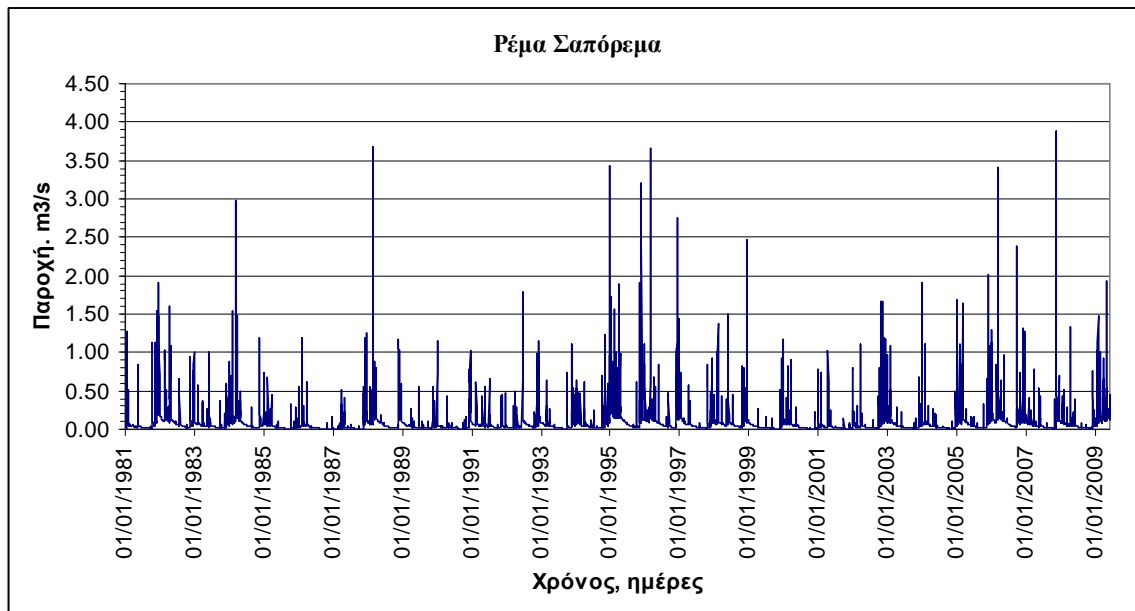
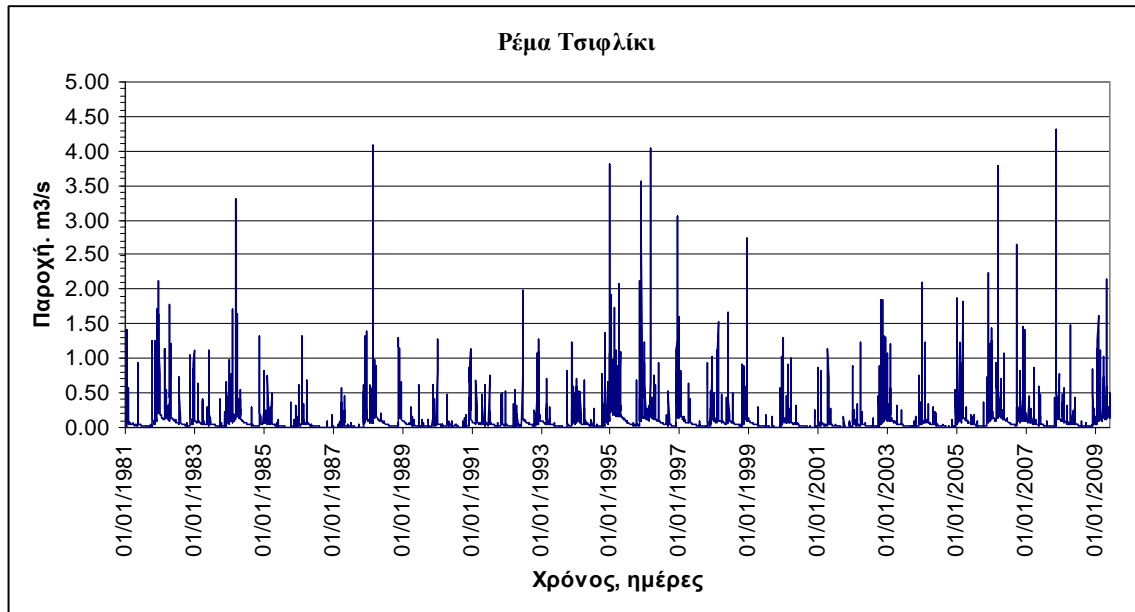
Σχήμα 2.24. Ορεινές υπολεκάνες των ποταμών που εισήχθηκαν στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης.



Σχήμα 2.25. Οριακές συνθήκες στα ανάντη άκρα του ποταμού Κομψάτου και του παραπόταμου του Βοσβόζη, Καρυδιά (υπολεκάνη Καρυδιάς).



Σχήμα 2.26. Οριακές συνθήκες στα ανάντη άκρα των υδατορευμάτων Ομηρικό (υπολεκάνη Οργάνης) και ρέματος Σαπών (υπολεκάνη Νέδα).



Σχήμα 2.27. Οριακές συνθήκες κατά μήκος του παραπόταμου του Λίσσου, Ρέμα Σαπών (υπολεκάνες, Τσιφλίκιο και Σαπόρεμα).

Οι ποταμοί οι οποίοι εισήχθηκαν στο υδρολογικό ομοίωμα, καθώς διατρέχουν το νομό, αλληλεπιδρούν τόσο με την ακόρεστη όσο και με την κορεσμένη ζώνη των υπόγειων υδάτων. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι αμφίδρομη (Σχήμα 2.28), και ο υπολογισμός της τροφοδοσίας των υπόγειων υδάτων από τους ποταμούς (Q_2) ή της στράγγισης τους από αυτούς (Q_1) γίνεται με μια σχέση η οποία βασίζεται στο νόμο του Darcy (MIKE SHE user manual), και είναι:

$$Q_i = C_i \Delta h \quad 2.8$$

όπου

Q_i : παροχή τροφοδοσίας ή στράγγισης

C_i : υδραυλική αγωγιμότητα μεταξύ του ποταμού και της ακόρεστης ζώνης ή υδροφορέα

Δh_i : διαφορά μεταξύ της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφορέα και της στάθμης του νερού στον ποταμό

Η παράμετρος C_i , επιλέγεται ανάλογα με τον τρόπο επαφής του υλικού της κοίτης του ποταμού, με το υλικό της ακόρεστης ζώνης ή του υδροφορέα. Εφόσον θεωρηθεί ότι το πρώτο αποτελεί συνέχεια του δεύτερου, τότε το C_i υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο την οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα της κορεσμένης ζώνης K και δίνεται από την εξίσωση:

$$C_i = \frac{K d_a d_x}{d_s} \quad 2.9$$

Η προσέγγιση αυτή υιοθετήθηκε για τον ποταμό Βοσβόζη και τους παραπόταμούς του.

Στην περίπτωση όπου το υλικό της κοίτης του ποταμού διαφοροποιείται από αυτό της κορεσμένης ζώνης, το C_i υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο το συντελεστή διαρροής του ποταμού (L_c) όσο και την υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα (K) και δίνεται από την εξίσωση:

$$C_i = \frac{1}{\frac{d_s}{K d_a d_x} + \frac{1}{L_c w d_x}} \quad 2.10$$

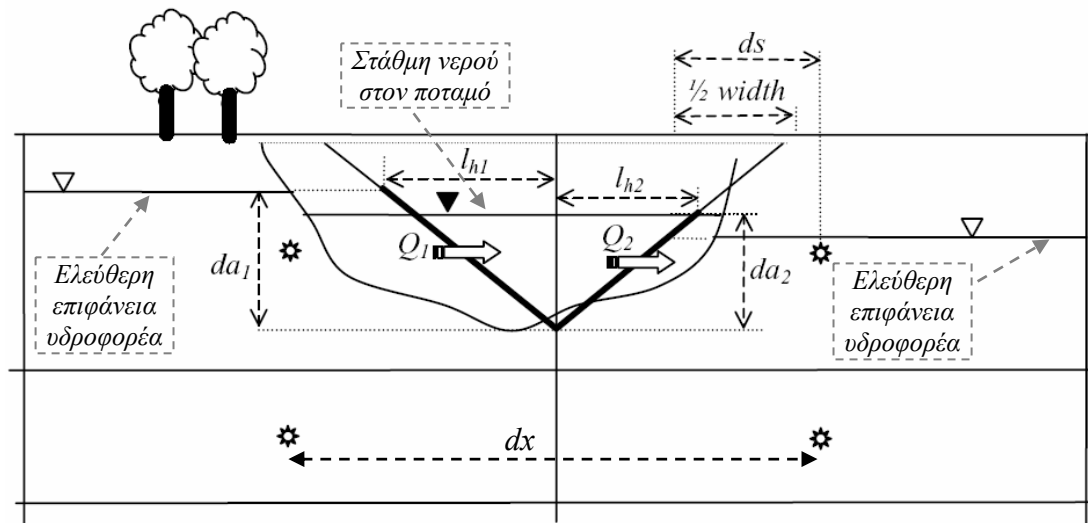
όπου

d_a : η μέγιστη διαθέσιμη κατακόρυφη επιφάνεια για μεταφορά νερού, d_{a1} ή d_{a2}

d_x : η διάσταση του κελιού

d_s : το μέσο μήκος ροής

w : η περιβρεχόμενη περίμετρος του ποταμού



Σχήμα 2.28 Αλληλεπίδραση επιφανειακών και υπόγειων νερών σε μία υποθετική διατομή του ποταμού (MIKE SHE User Manual)

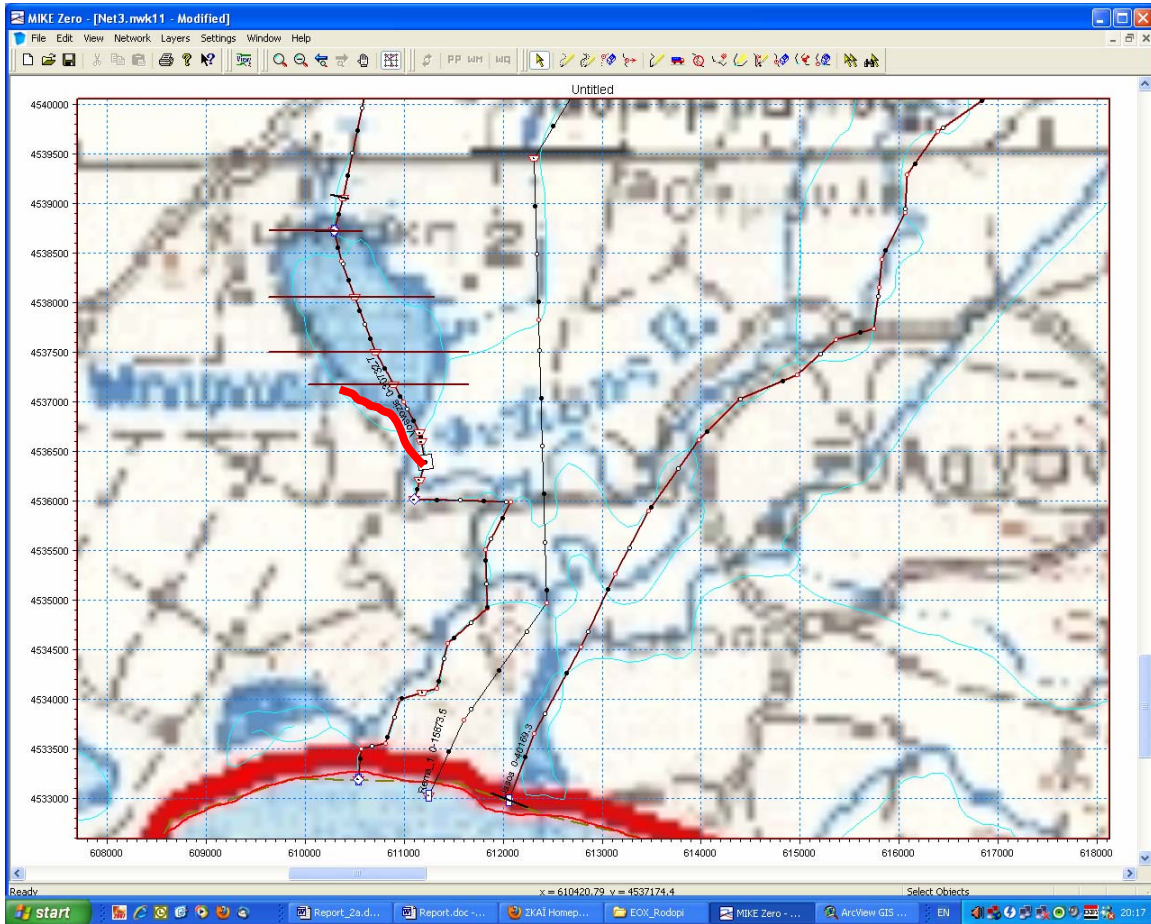
Η προσέγγιση αυτή υιοθετήθηκε για όλους τους υπόλοιπους ποταμούς. Οι τιμές των συντελεστών διαρροής αποτέλεσαν παράμετρο ρύθμισης του ομοιώματος και δίνονται στον Πίνακα 2.6 που ακολουθεί:

Πίνακας 2.6. Ποταμοί, παραπόταμοί τους και αντίστοιχοι συντελεστές διαρροής L_c , που εισήχθησαν στο υδρολογικό ομοίωμα του νομού Ροδόπης.

Ποταμός	Παραπόταμοι	L_c, s^{-1}
Κομψάτος		0.1
Ασπροπόταμος		0.001
Βοσβόζης		-
Βοσβόζης	Ρέμα Καρυδιάς	-
Ρέμα		0.1
Λίσσος		0.1
Λίσσος	Βιομηχανικό	0.001
	Ομηρικό	0.1
	Σαπών	0.1
	Ανατολικό	0.01

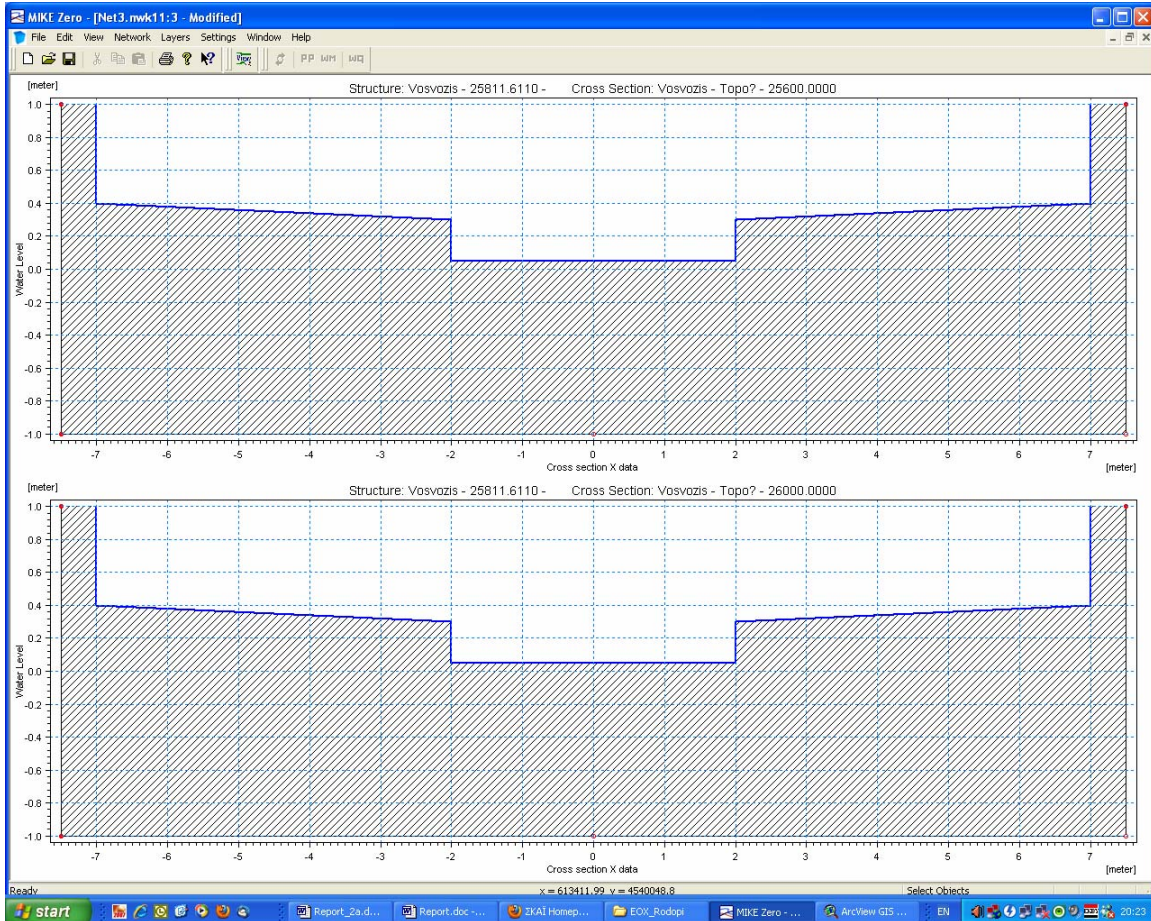
2.2.2 Υδραυλικές κατασκευές

Το απόλυτο υψόμετρο του πυθμένα της Ισμαρίδας παλαιότερα, αλλά ακόμη και σήμερα, παρά την όποια πρόσχωση που έχει δεχθεί, βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης της λίμνης, καθορίζει ένα πρόχειρο θυρόφραγμα κατασκευασμένο με ξύλινες σανίδες. Το μέγιστο υψόμετρο της στέγης του όταν διατηρείται κλειστό είναι περίπου $+0.20$ m. Κατά συνέπεια, η λίμνη εκφορτίζεται προς τη θάλασσα πάνω από αυτό το υψόμετρο μέσω του διαύλου της. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις πλημμυρικών παροχών του Βοσβόζη, και όταν η στάθμη της λίμνης ανεβαίνει πάνω από το 1.0 m, τότε η υπερχειλίση συμβαίνει κατά μήκος ενός μεγάλου τμήματος του υποτυπώδους νότιου αναχώματός της, (Σχήμα 2.29).

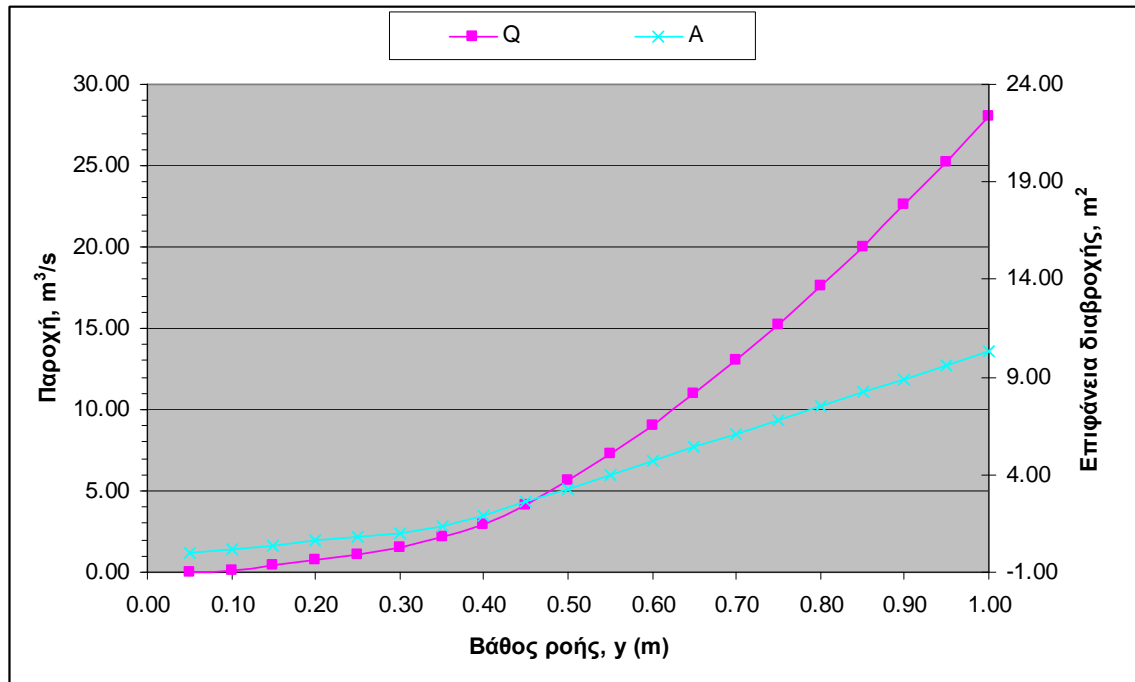


Σχήμα 2.29. Τμήμα υπερχειλίσης της λίμνης όταν το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης της υπερβαίνει το $+1.00$ m.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας της λίμνης υπό την παρουσία του εν λόγω θυροφράγματος, το οποίο επίσης εμποδίζει και την είσοδο της θάλασσα στη λίμνη, εισήχθηκε στο ομοίωμα ένας μικρός αναβαθμός (Σχήμα 2.30), τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.31.



Σχήμα 2.30. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αναβαθμού ο οποίος προσομοιώνει το θυρόφραγμα της λίμνης Ισμαρίδας.



Σχήμα 2.31. Υδραυλικά χαρακτηριστικά (παροχή Q , και επιφάνεια ροής A), του αναβαθμού ο οποίος προσομοιώνει το θυρόφραγμα της λίμνης Ισμαρίδας.

2.3 Εγκατάσταση του NAM στο νομό Ροδόπης

Με το όρο προσομοίωση της σχέσης βροχής – απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη, αποδίδεται η διαδικασία μετασχηματισμού της βροχόπτωσης στη λεκάνη (ή υπολεκάνη) σε απορροή. Σχεδόν όλα τα συστήματα προσομοίωσης της σχέσης βροχής – απορροής, λαμβάνουν κατ’ ελάχιστον ως δεδομένα εισόδου τα κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι) και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και υπολογίζουν ως αποτέλεσμα την απορροή.

Από τα διαθέσιμα moduls στο περιβάλλον του MIKE 11, επιλέχτηκε το NAM λόγω της ικανότητάς του να προσομοιώνει με αξιοπιστία τη σχέση βροχής-απορροής σε ημερήσιο χρονικό βήμα. Το NAM είναι σε θέση να αναπαραστήσει τις διάφορες συνιστώσες του φαινομένου μετατροπής της βροχής σε απορροή, παρακολουθώντας το ισοζύγιο του νερού σε τέσσερις διαφορετικές αλλά ταυτόχρονα αλληλένδετες «αποθήκες» νερού, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα διάφορα φυσικά στοιχεία της υδρολογικής λεκάνης.

Από τεχνική άποψη, το NAM μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα προσδιοριστικό, εννοιολογικό ομοίωμα με μέτριες απαιτήσεις εισόδου σε δεδομένα. Ως προεπιλογή, απαιτεί εννέα μόνο παραμέτρους εισόδου, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το επιφανειακό τμήμα της λεκάνης, τη ζώνη του ριζοστρώματος και την αποθήκευση στους υπόγειους υδροφορείς (Πίνακας 2.8). Η σχηματική αναπαράσταση της δομής του NAM φαίνεται στο Σχήμα 2.32.

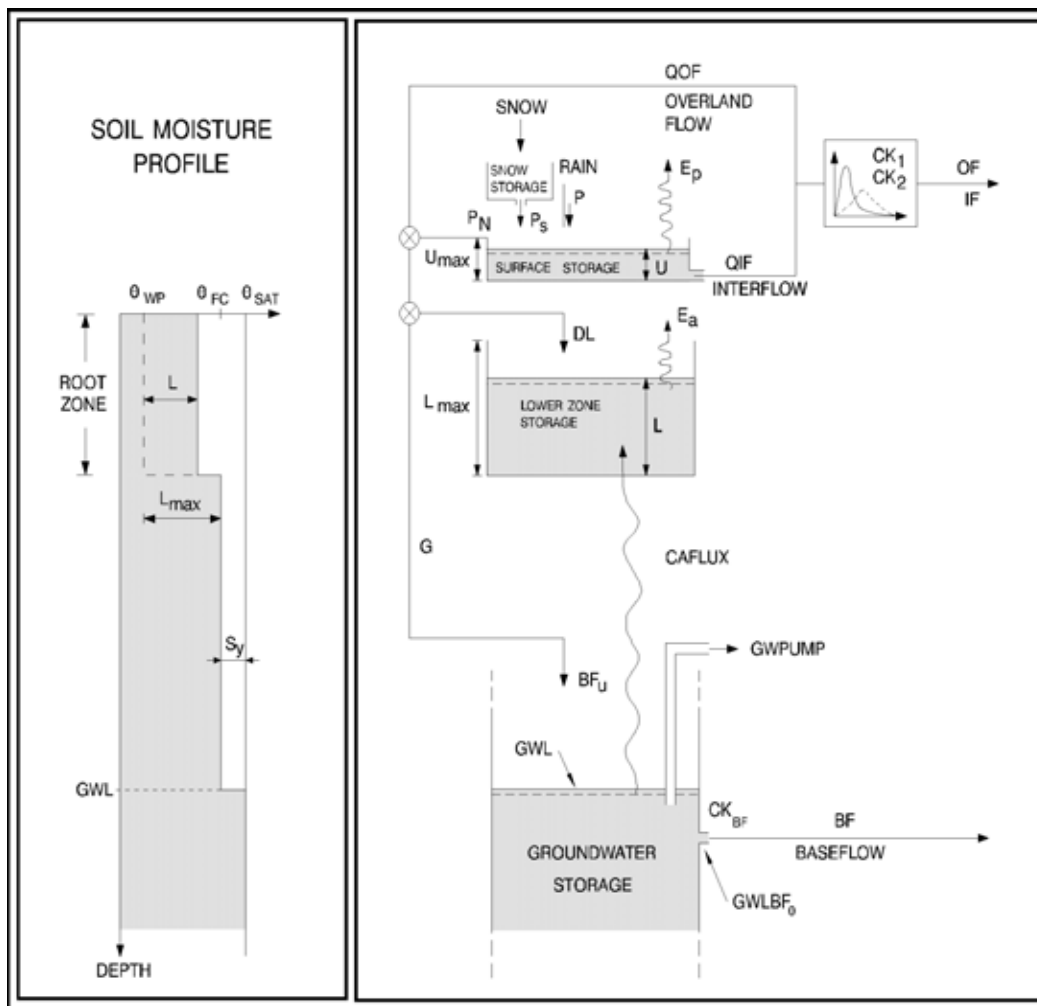
Με τη χρήση του NAM, προσομοιώθηκε η απορροή σε κάθε μια από τις ορεινές υπολεκάνες των ποταμών του νομού Ροδόπης (Σχήμα 2.24 και Πίνακας 2.7.)

Πίνακας 2.7. Ορεινές υπολεκάνες του νομού Ροδόπης οι οποίες εισήχθηκαν στο NAM

α/α	Υπολεκάνη	Έκταση, km ²	α/α	Υπολεκάνη	Έκταση, km ²
1.	Αμαξάδες	12.3	9.	Γρατινή	75.4
2.	Ίασμος	57.3	10.	Οργάνη	212.1
3.	Κομψάτος	553	11.	Κέχρος	486.8
4.	Ασπροπόταμος	52.9	12.	Νέδα	74.9
5.	Θάμνα	19.1	13.	Τσιφλίκιο	15.1
6.	Ασπρόρεμα	70.5	14.	Σαπόρεμα	13.6
7.	Πάνδροσος	29.9	15.	Ανατολικά	106.5
8.	Καρυδιά	32.8			

Πίνακας 2.8 Κύριες παράμετροι εισόδου στο NAM

Parameters	Units	Description	Bandwidth
<i>Surface-Rootzone</i>			
Max. water content in surface storage – Umax	mm	Represents the cumulative total water content of the interception storage (on vegetation), surface depression storage and storage in the uppermost layers (a few cm) of the soil	10-20
Max. water content in root zone storage – Lmax	mm	Represents the maximum soil moisture content in the root zone, which is available for transpiration by vegetation	50-300
Oveland flow runoff coefficient – CQOF		Determines the division of excess rainfall between overland flow and infiltration	0.1-1.0
Time constant for routing interflow – CKIF	hour	Determines the amount of interflow, which decreases with larger time constants	500-1000
Time constant for routing overland flow – CK1,2	hour	Determines the shape of hydrograph peaks. High, sharp peaks are simulated with small time constants, whereas low peaks, at a later time, are simulated with large values of these parameters	3-48
Root zone threshold value for overland flow – TOF		Determines the relative value of the moisture content in the root zone (L/Lmax) above which overland flow is generated.	0.0-0.7
Root zone threshold value for interflow – TIF		Determines the relative value of the moisture content in the root zone (L/Lmax) above which interflow is generated	0.0-0.7
<i>Groundwater</i>			
Root zone threshold value for groundwater recharge – TG		Determines the relative value of the moisture content in the root zone (L/Lmax) above which ground water recharge is generated.	0.0-0.7
Time constant for routing baseflow – CKBF	hour	Can be determined from the hydrograph recession in dry periods	1000-4000

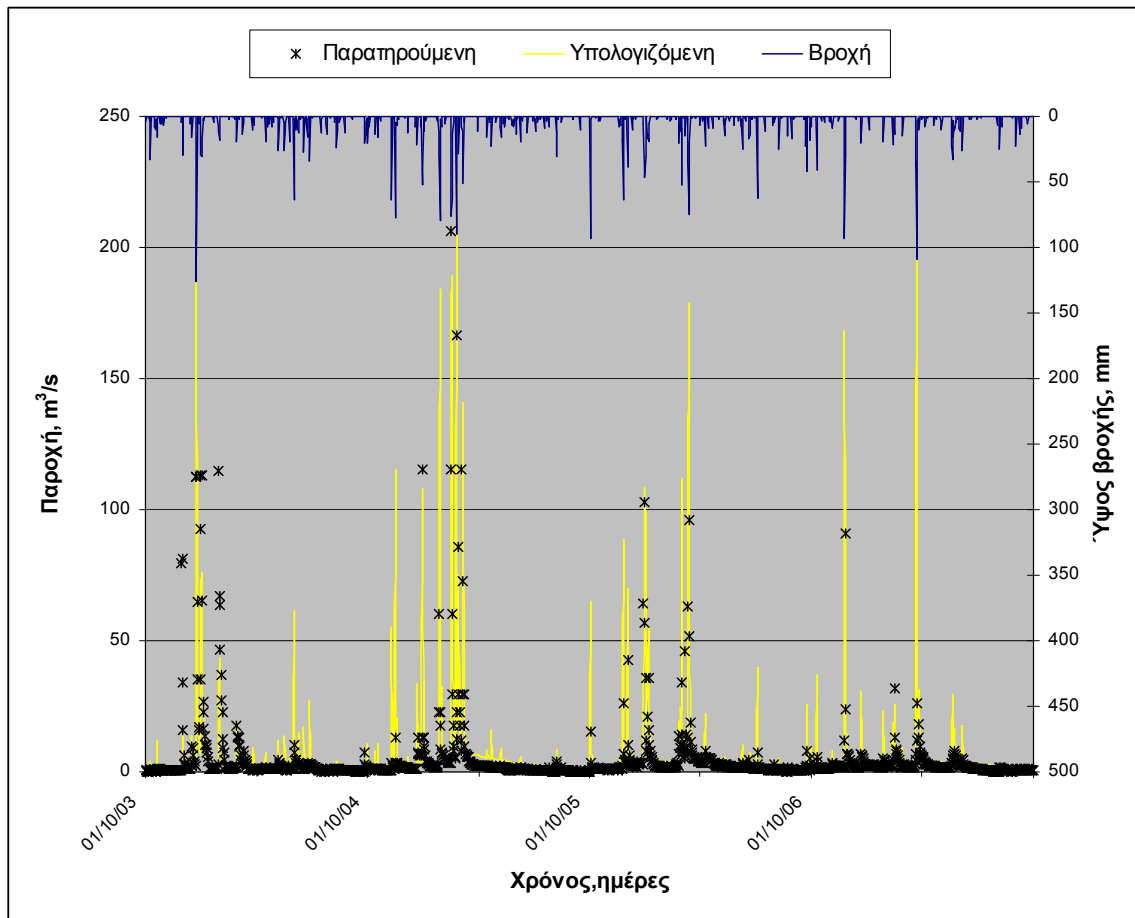


Σχήμα 2.32 Η σχηματική αναπαράσταση της δομής του NAM

Ως τιμές των παραμέτρων εισόδου στο ομοίωμα (Πίνακας 2.8), κάθε υπολεκάνης, υιοθετήθηκαν αρχικώς αυτές οι οποίες προσδιορίστηκαν για τη λεκάνη του Κομψάτου, ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκαν επιδιώκοντας η βασική απορροή κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών να βρίσκεται κοντά στο μηδέν.

Οι τιμές των παραμέτρων εισόδου της υπολεκάνης του Κομψάτου, προέκυψαν ως αποτέλεσμα της ρύθμισης του NAM στην υπολεκάνη αυτή (Πίνακας 2.9 & Σχήμα 2.33), λαμβάνοντας υπόψη διαθέσιμες παρατηρήσεις ημερήσιων τιμών ύψους βροχής (στο σταθμό Θέρμες) και απορροής στη θέση Τρίκορφο της λεκάνης του Κομψάτου (Σχήμα 2.34).

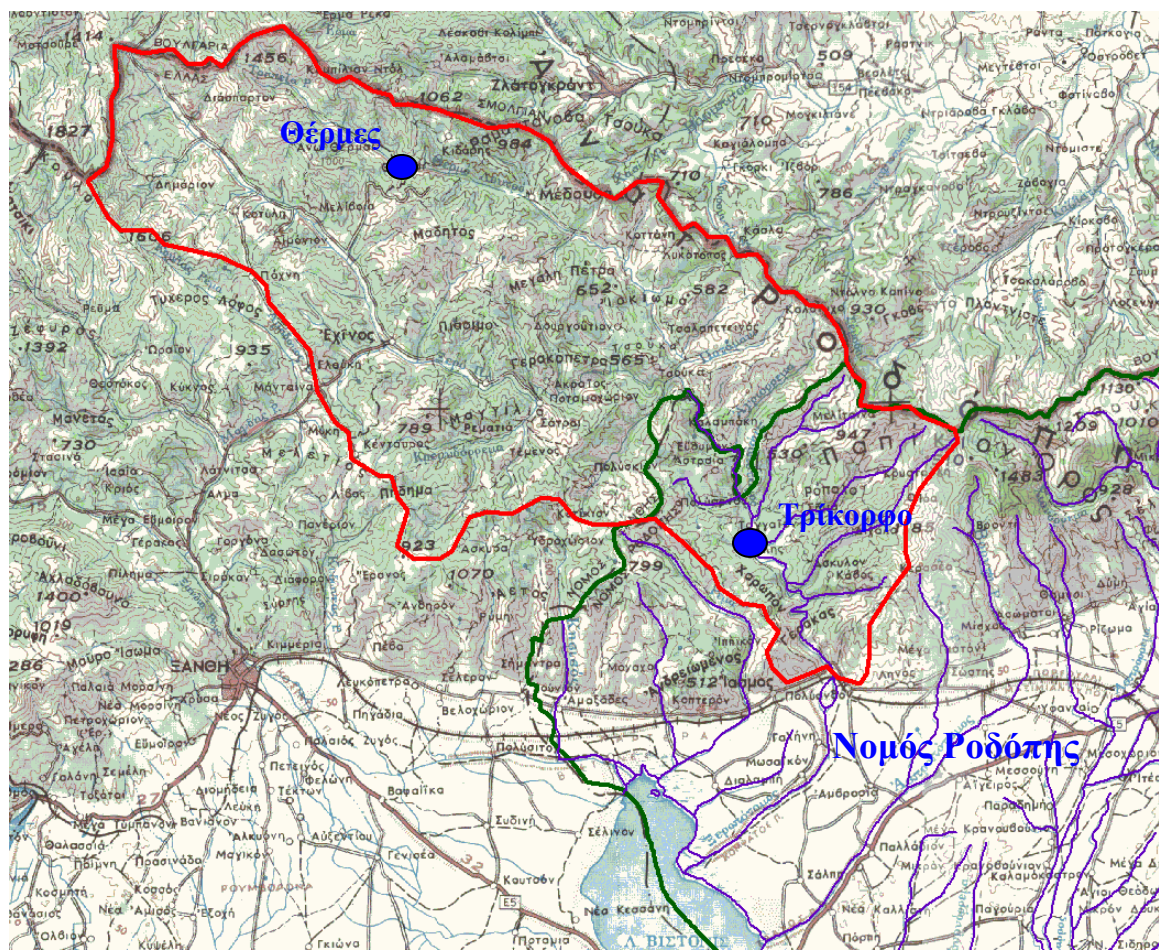
Οι τιμές των παραμέτρων εισόδου για κάθε υπολεκάνη που εισήχθηκε στο NAM δίνονται στον Πίνακα 2.10. Στον Πίνακα 2.11 δίνονται οι αρχικές συνθήκες – τιμές των ανωτέρω παραμέτρων.



Σχήμα 2.33 Παρατηρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές της απορροής στη θέση Τρίκορφο της λεκάνης του Κομψάτου.

Πίνακας 2.9 Προτεινόμενα από τη διαδικασία autocalibration, άνω και κάτω ορίων των παραμέτρων εισόδου της λεκάνης του Κομψάτου στο NMA και τιμές οι οποίες τελικά λήφθηκαν υπόψη.

	U _{max}	L _{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
Πάνω όριο	20	300	1	2000	50	0,99	0,99	0,99	4000
Κάτω όριο	10	100	0,1	200	10	0	0	0	1000
Τελικές	10	100	0,5	1000	10	0	0	0	2000



Σχήμα 2.34 Λεκάνη απορροής του Κομψάτου

Πίνακας 2.10α. Τιμές των παραμέτρων εισόδου στο NAM των ορεινών υπολεκανών στο νομό Ροδόπης

	Υπολεκάνη	U_{max}	L_{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF
1	Αμαξάδες	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
2	Ίασμος	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00
3	Κομψάτος	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00
4	Ασπροπόταμος	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
5	Θάμνα	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
6	Ασπρόρεμα	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
7	Πάνδροσος	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
8	Καρυδιά	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
9	Γρατινή	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
10	Οργάνη	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
11	Κέχρος	14.40	188.00	0.39	1624.00	11.70	0.53	0.78
12	Νέδα	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00
13	Τσιφλίκιο	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00
14	Σαπόρεμα	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00
15	Ανατολικά	10.00	100.00	0.50	1000.00	10.00	0.00	0.00

Πίνακας 2.10β. Τιμές των παραμέτρων εισόδου στο NAM των ορεινών υπολεκανών στο νομό Ροδόπης

α/α	Υπολεκάνη	TG	CKBF	α/α	Υπολεκάνη	TG	CKBF
1.	Αμαξάδες	0.813	2139	9.	Γρατινή	0.813	2139
2.	Ίασμος	0	2000	10.	Οργάνη	0.813	2139
3.	Κομψάτος	0	2000	11.	Κέχρος	0.813	2139
4.	Ασπροπόταμος	0.813	2139	12.	Νέδα	0	2000
5.	Θάμνα	0.813	2139	13.	Τσιφλίκιο	0	2000
6.	Ασπρόρεμα	0.813	2139	14.	Σαπόρεμα	0	2000
7.	Πάνδροσος	0.813	2139	15.	Ανατολικά	0	2000
8.	Καρυδιά	0.813	2139				

Πίνακας 2.11 Αρχικές συνθήκες - τιμές των παραμέτρων εισόδου στο NAM των ορεινών υπολεκανών στο νομό Ροδόπης

	Υπολεκάνη	U_{max}	L_{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF
1	Αμαξάδες	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Τασμος	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Κομπάτος	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Ασπροπόταμος	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Θάμνα	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Ασπρόρεμα	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Πάνδροσος	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Καρυδιά	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Γρατινή	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Οργάνη	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Κέχρος	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Νέδα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Τσιφλίκιο	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Σαπόρεμα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Ανατολικά	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή του έργου, η ρύθμιση του ομοιώματος των επιφανειακών υδάτων, θα στηρίζονταν σε παρατηρούμενες τιμές παροχής και στάθμης στους ποταμούς του νομού και στη λίμνη Ισμαρίδα. Από την βιβλιογραφική αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου, δεν προέκυψαν ικανοποιητικά ευρήματα όσον αφορά σε ιστορικές χρονοσειρές των ανωτέρω παραμέτρων.

Οι Μαλιώκας κ.ά., (2008), υπολόγισαν την ετήσια απορροή (εκφρασμένη σε mm) στα ορεινά τμήματα των λεκανών Κομψάτου και Ασπροπόταμου για το χρονικό διάστημα 1966 – 1998, καθώς και τους συντελεστές απορροής για τρεις διαφορετικές μεθόδους. Σύμφωνα με τους ανωτέρω ερευνητές το υπερετήσιο ύψος απορροής στις δυο λεκάνες είναι:

- Η μέθοδος Turc: 544 mm
- Η μέθοδος Coutagne 473 mm
- Η μέθοδος Thornthwaite (S=150) 470.5 mm

Το Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Ζιαγκλιαβού, 2005), εκτιμά το υδατικό δυναμικό των χειμάρρων του Βοσβόζη ως ακολούθως (Πίνακας 3.1):

Πίνακας 3.1. Εκτίμηση του υδατικού δυναμικού (m^3/s), των χειμάρρων του π. Βοσβόζη

Χείμαρος	Ελάχιστη παροχή	Μέγιστη παροχή	Μέση παροχή
Χιονόρεμα (Ασπρόρεμα)	0.181	194.04	3.2
Καρδιάς	0.023	181.12	1.87
Κάλχαντα (Πάνδροσος)	0.018	112.35	1.03

Η Ζιαγκλιαβού (2005), διενήργησε επί τόπου μετρήσεις παροχής κατά μήκος του π. Βοσβόζη, (Πίνακας 3.2), συνολικής διάρκειας ενός έτους (Ιούλιος 2003 –Ιούλιος 2004).

Πίνακας 3.2 Μετρήσεις παροχών (m^3/s), κατά μήκος του π. Βοσβόζη

Ημερομηνία	Παραδημή	Γέφυρα Παγουριών	Ανάντη Ισμαρίδας	Έξοδος Ισμαρίδας
24/10/03		0.53	0.42	
26/11/03	0.12	0.10	0.08	
15/12/03	1.04	0.96	0.95	1.22
19/01/04	1.64		1.00	1.02
31/03/04	2.39		2.07	2.83
23/04/04	1.71		1.46	2.18
28/05/04	0.89		0.51	0.03
08/07/04	0.05		0.03	7.56

Οι Pisinaras et.al., () αναφέρουν ότι ο μέσος ετήσιος όγκος παροχής ο οποίος διήλθε στο ύψος της Παραδημής, στηριζόμενος σε διμηνιαίες μετρήσεις παροχής στον Βοσβόζη κατά τη διάρκεια από τον Οκτώβριο 2002 έως το Σεπτέμβριο 2004, εκτιμήθηκε σε $78 \times 10^6 \text{ m}^3$. Επιπλέον, εκτιμούν ότι στο τμήμα του Βοσβόζη από το ύψος της Παραδημής έως την Ισμαρίδα, η τροφοδοσία των υπόγειων υδάτων ανέρχεται σε $81.3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}$. Κατά συνέπεια η ετήσια τροφοδοσία του φρεάτιου υδροφορέα από το τμήμα αυτό εκτιμάται σε $4.84 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά της λίμνης Ισμαρίδας, αναφέρεται ως μια ρηχή λίμνη με μέγιστο βάθος $1.0 - 1.5 \text{ m}$. χωρίς να αναφέρονται μετρήσεις του βάθους ή της στάθμης της.

Η εγκατάσταση του δικτύου παρακολούθησης το οποίο προβλέπονταν να γίνει στο πλαίσιο του παρόντος έργου ολοκληρώθηκε μόλις τον ένα μήνα πριν τη λήξη του έργου. με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η χρήση των παρατηρήσεων του στη ρύθμιση του υδρολογικού ομοιώματος.

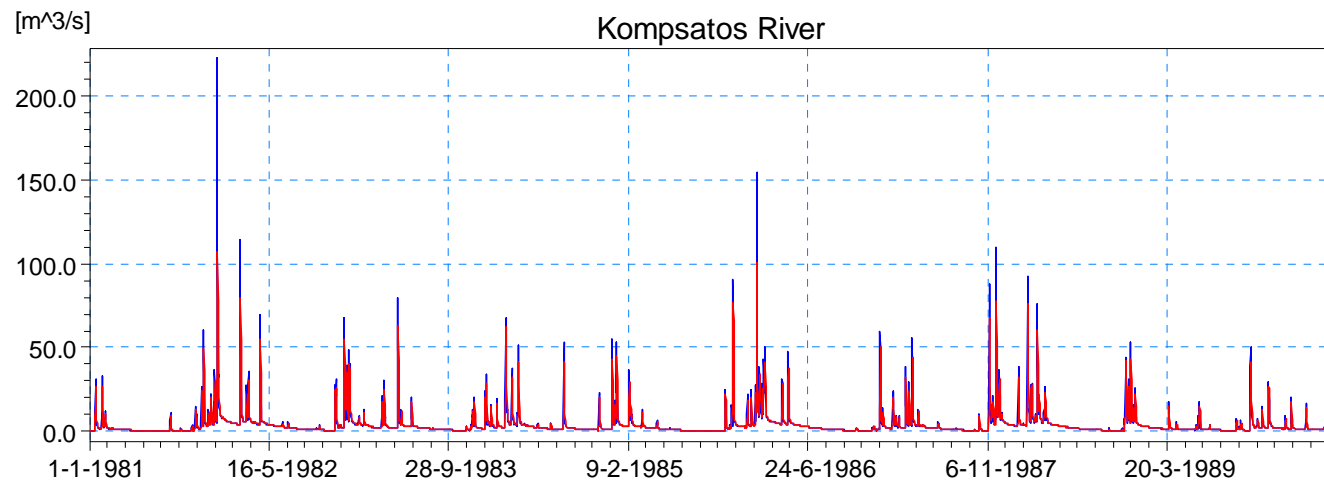
Υπό αυτές τις συνθήκες καταβλήθηκε προσπάθεια. η ρύθμιση του ομοιώματος να γίνει με βάση τα υπολογιζόμενα υδρολογικά ισοζύγια για το νομό (ή λεκανών του), αλλά και στηριζόμενη στην εμπειρία της ομάδας εργασίας.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ομοιώματος. Εκτενής παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται στο συνοδευτικό παραδοτέο ΠΒ1.9 του παρόντος έργου όπου αναλύονται οι πιέσεις στη λεκάνη από την εφαρμογή των αρδεύσεων.

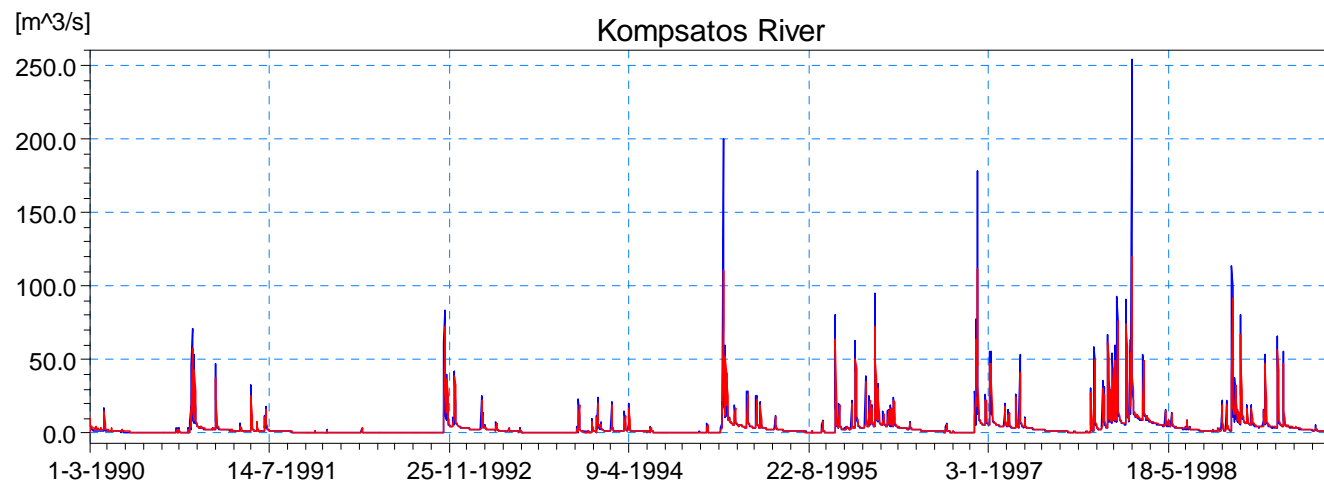
Στα Σχήματα 3.1 έως 3.3 που ακολουθούν δίνονται οι ημερήσιες τιμές παροχής στους κυριότερους ποταμούς του νομού Ροδόπης, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το σύστημα MIKE SHE/MIKE 11 για το χρονικό διάστημα 1/1/1981 έως 31/4/2009.

Στο Σχήμα 3.4 δίνονται ημερήσιες τιμές της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης Ισμαρίδας για το ανωτέρω χρονικό διάστημα.

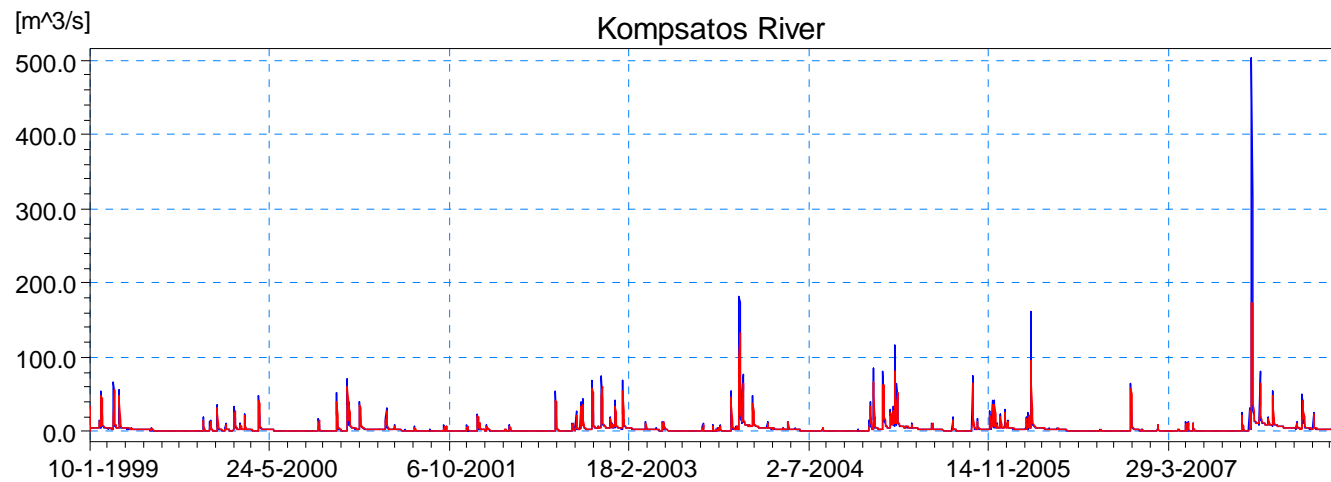
Στον Πίνακα 3.4 δίνονται οι κυριότερες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Βοσβόζη (Σχήμα 3.5)



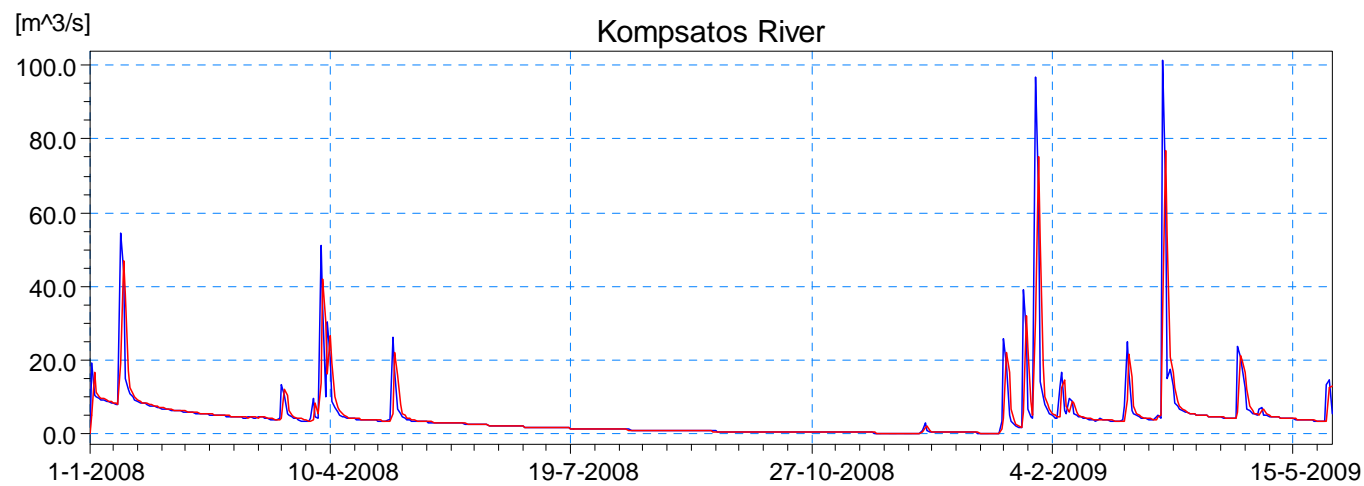
Discharge
 — KOMPSATOS 354.15
 — KOMPSATOS 12723.65



Discharge
 — KOMPSATOS 354.15
 — KOMPSATOS 12723.65

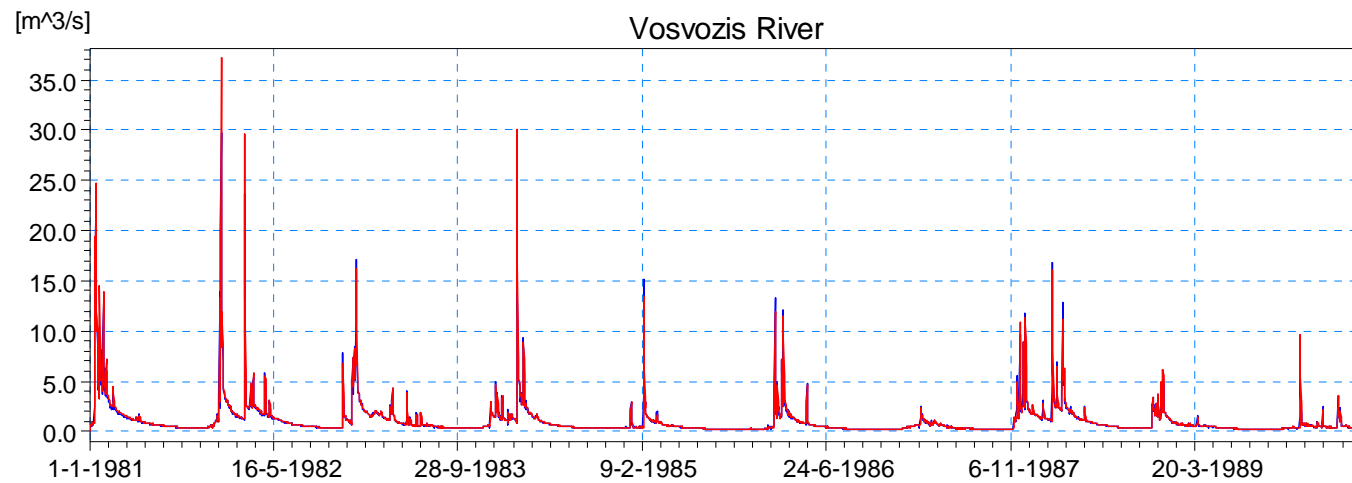


Discharge
 — KOMPSATOS 354.15
 — KOMPSATOS 12723.65

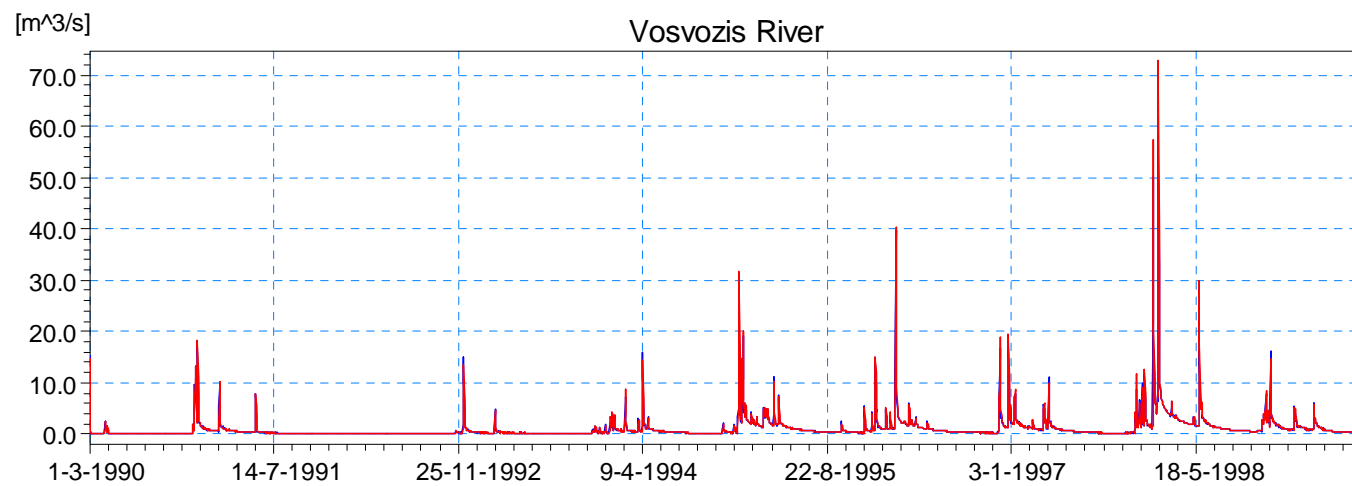


Discharge
 — KOMPSATOS 354.15
 — KOMPSATOS 12723.65

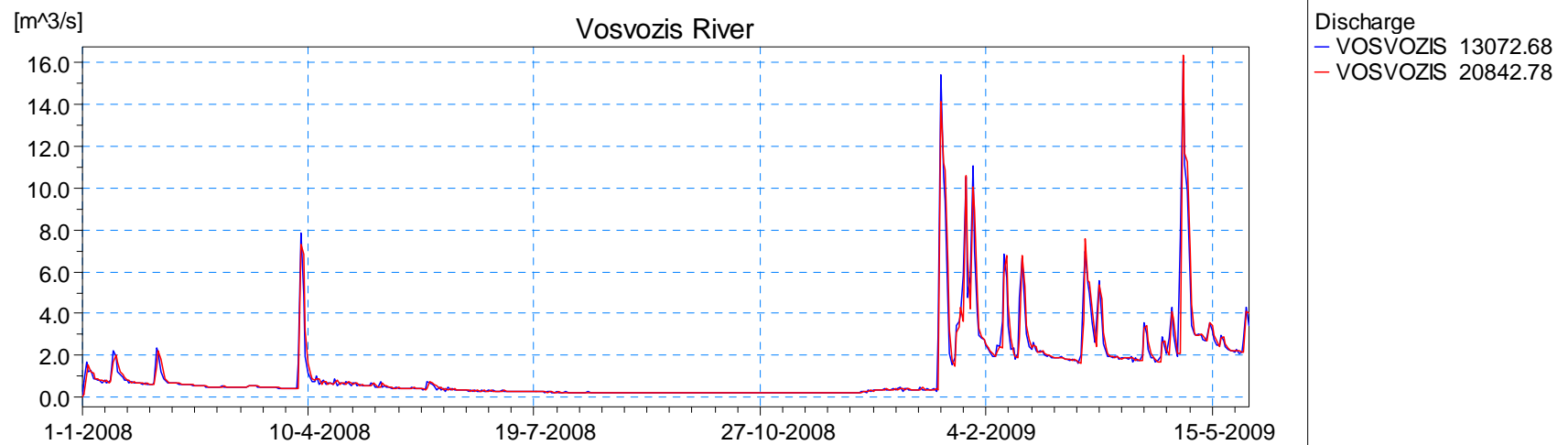
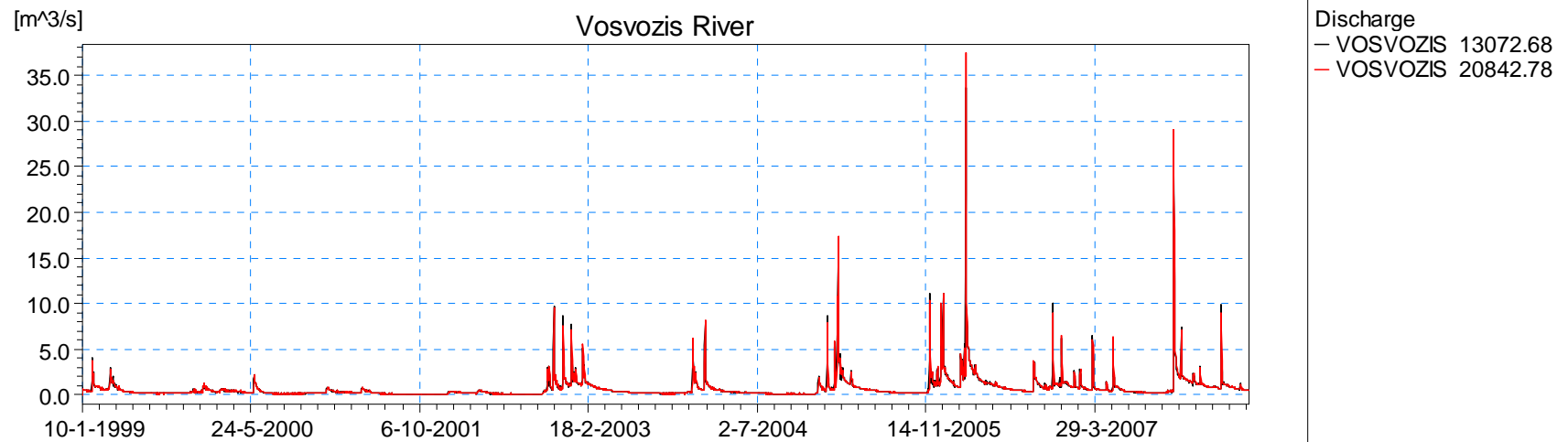
Σχήμα 3.1 Ημερήσιες τιμές παροχής στην είσοδο του π. Κομψάτου στο πεδινό τμήμα (Σιδηροδρομική γέφυρα) και στην έξοδό του στη εκβολή του κατά το χρονικό διάστημα 1981 – 2009.



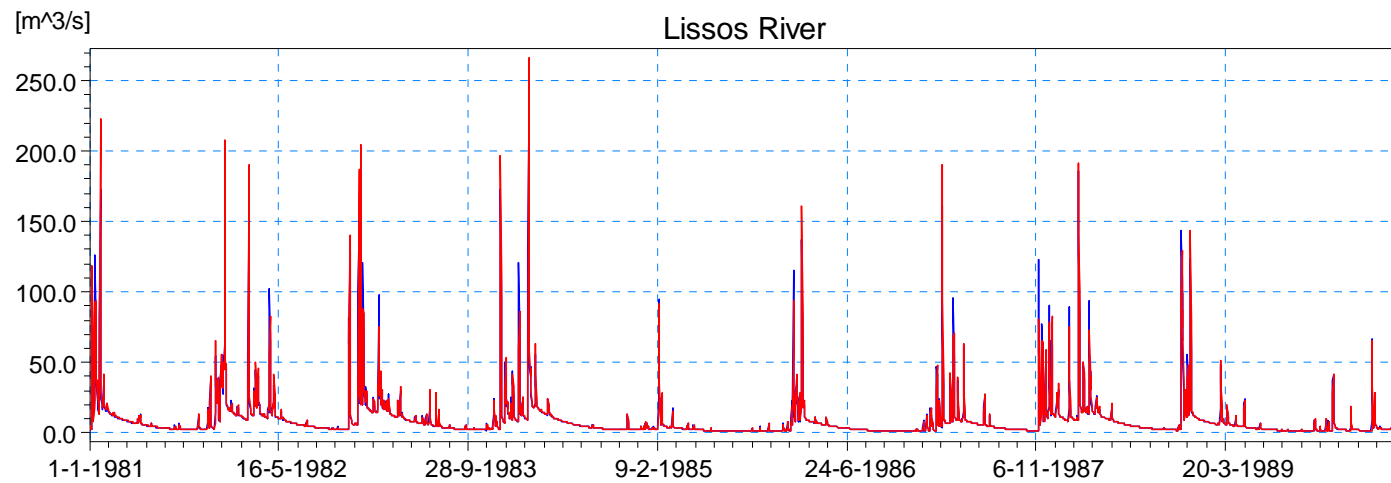
Discharge
 — VOSVOZIS 13072.68
 — VOSVOZIS 20842.78



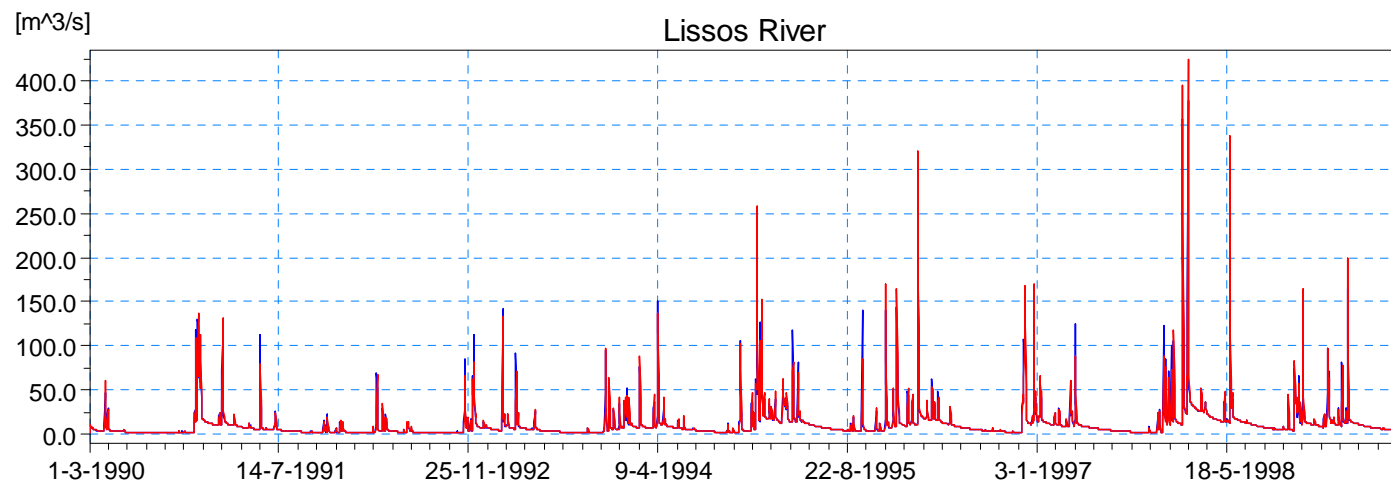
Discharge
 — VOSVOZIS 13072.68
 — VOSVOZIS 20842.78



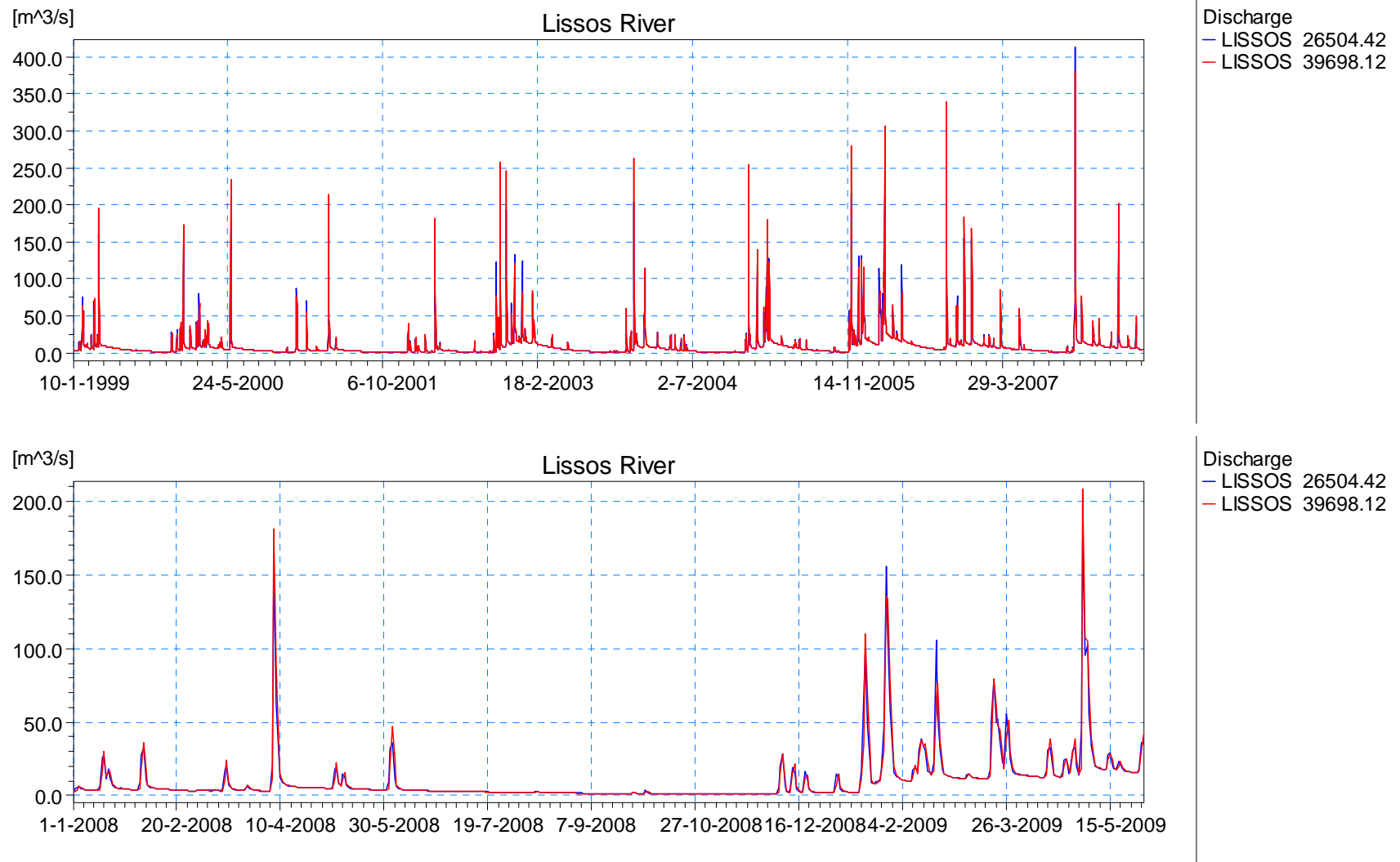
Σχήμα 3.2 Ημερήσιες τιμές παροχής του π. Βοσβόζη στο ύψος της Παραδημής (13072,68) και στην είσοδό του στην Ισμαρίδα (20842.78), κατά το χρονικό διάστημα 1981 – 2009.



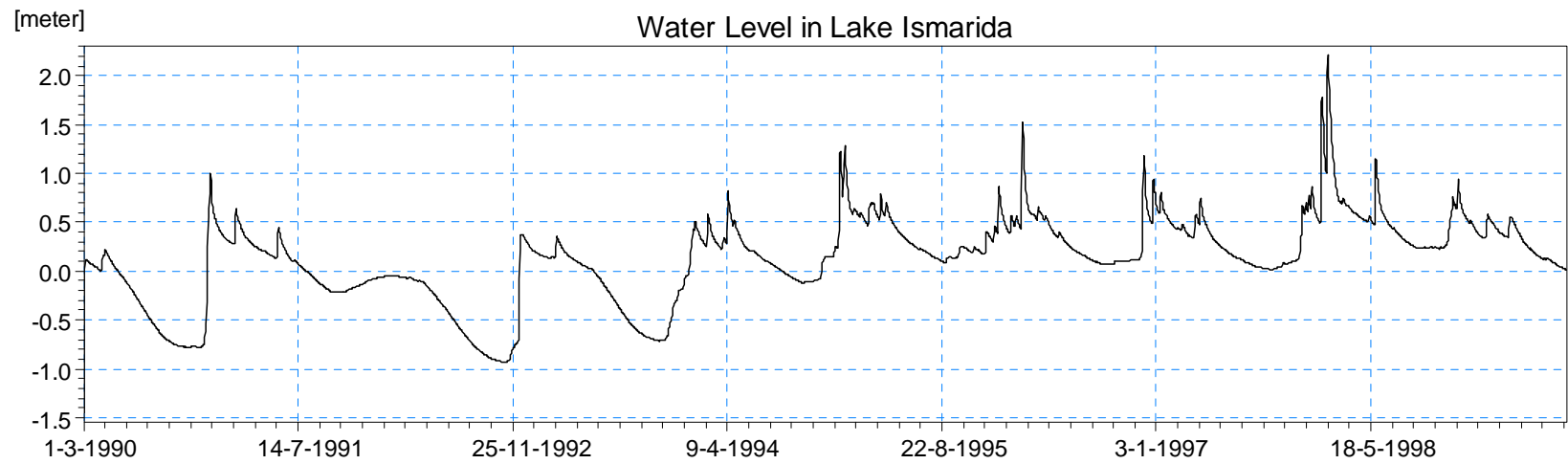
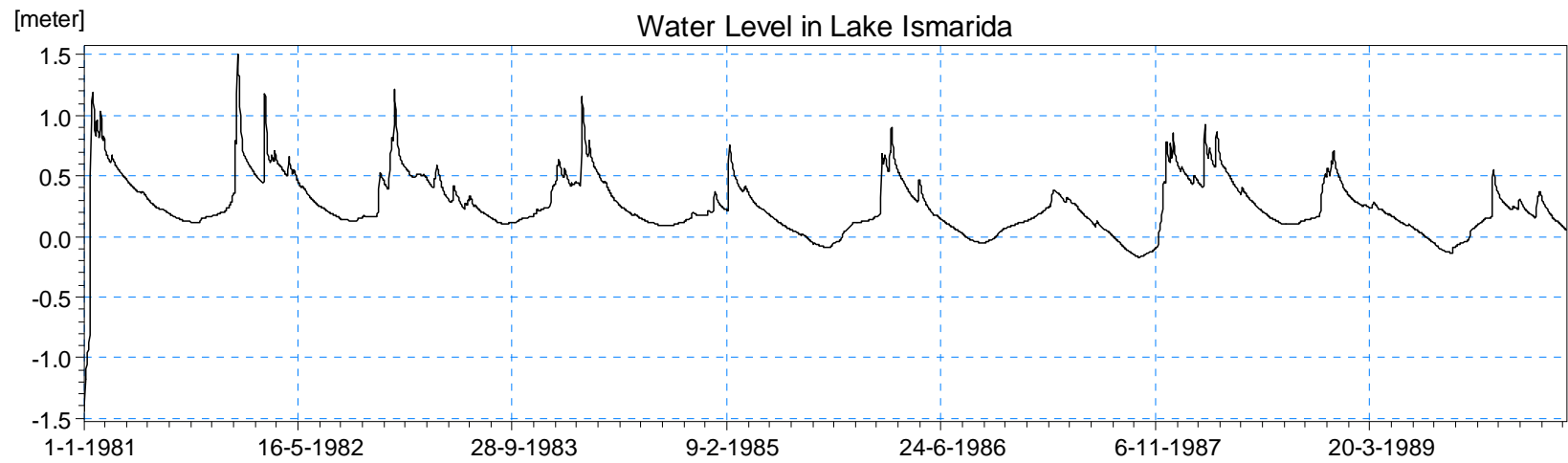
Discharge
— LISSOS 26504.42
— LISSOS 39698.12

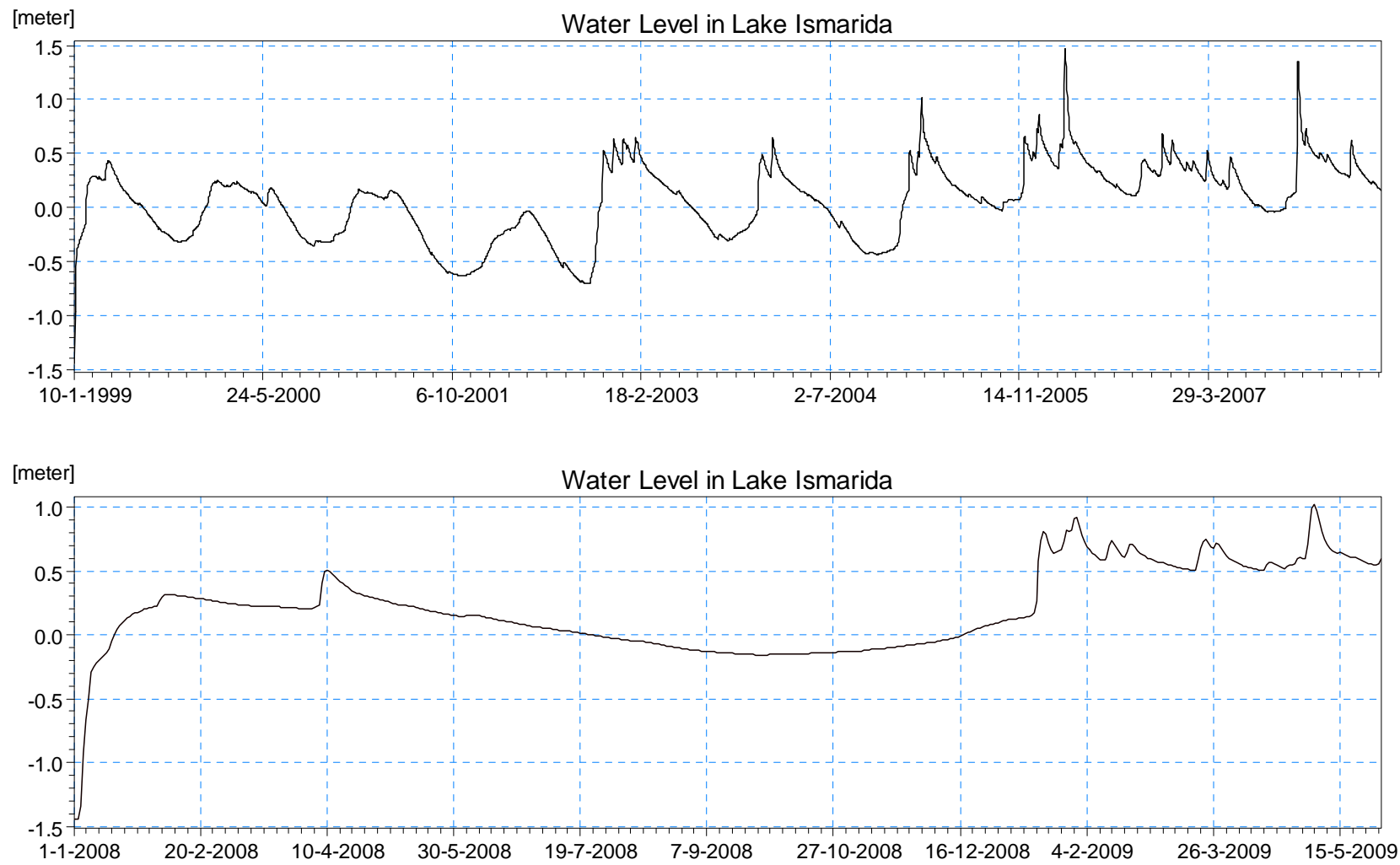


Discharge
— LISSOS 26504.42
— LISSOS 39698.12

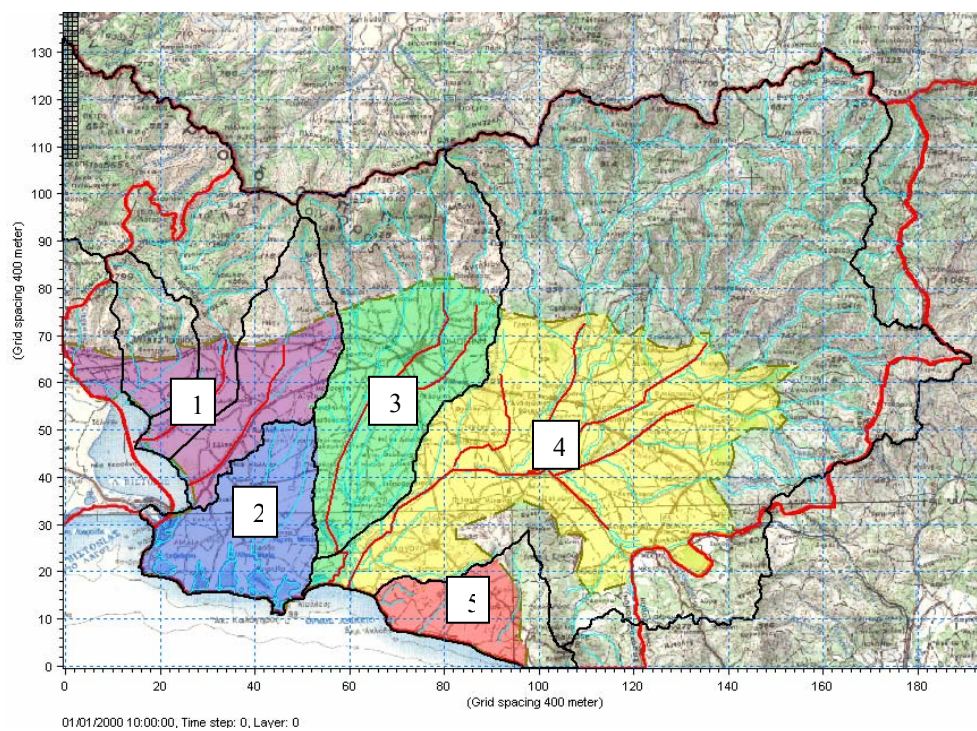


Σχήμα 3.3 Ημερήσιες τιμές παροχής του π. Λίσσου στο ύψος της Βιομηχανικής Περιοχής (26504.42) και στην εκβολή του (39698.12), κατά το χρονικό διάστημα 1981 – 2009.





Σχήμα 3.4 Ημερήσιες τιμές της στάθμης της λίμνης Ισμαρίδας για το χρονικό διάστημα 1981 – 2009.



Σχήμα 3.5 Πεδινό τμήμα των κύριων υπολεκανών στο νομό Ροδόπης

Πίνακας 3.4. Συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου (mm) στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Βοσβόζη έκτασης 228.32 km²

Έτος	Βροχή	Εξατμισο -διαπνοή	Αρδεύσεις	Υπόγεια αποθήκευση	Υπόγεια Εισροή	Υπόγεια εκροή	Στράγγιση	Βασική απορροή	Ληθήσεις ποταμών
27/12/1981	-844.2	522.7	-117.9	205.4	68.7	73.1	119.9	2.6	-1.9
22/12/1982	-712.3	581.3	-109.9	38.3	45.4	46.5	105.1	1.8	-1.4
17/12/1983	-722.0	651.4	-86.0	-16.8	41.2	45.9	92.0	1.8	-1.1
11/12/1984	-562.4	491.4	-115.8	-23.7	38.6	46.9	98.2	1.6	-1.2
06/12/1985	-518.8	505.8	-120.3	-37.4	31.8	47.1	45.2	0.7	-0.9
01/12/1986	-465.6	445.6	-120.0	-35.7	33.6	47.2	54.7	0.7	-1.3
26/11/1987	-795.0	593.0	-102.5	144.1	34.5	46.7	57.1	0.6	-1.1
20/11/1988	-625.8	563.8	-116.1	-15.1	38.6	47.3	83.4	1.3	-2.0
15/11/1989	-613.1	511.9	-112.9	28.8	35.4	47.0	72.1	1.3	-1.1
26/12/1990									
21/12/1991	-501.3	626.7	-193.4	-127.0	37.5	34.2	17.1	0.1	-1.4
15/12/1992	-583.6	590.6	-207.8	-9.2	38.4	34.8	10.0	0.0	-0.8
10/12/1993	-541.7	612.3	-216.1	-65.2	45.1	35.3	14.6	0.1	-1.0
05/12/1994	-611.8	659.4	-199.3	-36.5	50.3	35.1	21.2	0.2	-2.2
30/11/1995	1003.7	736.5	-205.6	258.3	56.0	35.9	41.5	0.7	-2.9
24/11/1996	-675.4	659.8	-230.4	8.0	58.3	36.6	45.6	0.9	-2.4
19/11/1997	-768.9	635.1	-217.2	123.3	59.3	37.3	43.9	1.0	-2.1
14/11/1998	1178.3	723.4	-210.4	386.1	72.6	39.6	143.6	2.1	-3.2
10/01/1999									
05/01/2000	-651.5	643.0	-212.4	-4.9	63.8	40.9	44.4	1.6	-0.9
30/12/2000	-574.7	651.1	-233.4	-82.5	62.8	40.5	39.5	1.0	-0.9
25/12/2001	-487.5	590.6	-211.1	-97.9	61.1	39.5	26.7	0.6	-1.1
20/12/2002	-844.3	684.1	-209.6	151.2	63.8	39.0	42.8	0.4	-1.7
15/12/2003	-563.5	615.1	-215.1	-44.7	66.5	38.8	32.7	0.9	-1.6
09/12/2004	-592.1	630.7	-185.8	-35.2	65.3	38.3	33.7	0.7	-1.1
04/12/2005	-940.6	645.8	-173.9	290.0	70.0	38.3	48.7	0.8	-1.9
29/11/2006	1009.8	706.1	-201.2	252.9	78.5	39.9	103.4	2.4	-1.9
24/11/2007	-840.9	674.1	-203.5	131.6	70.7	43.3	69.5	2.9	-1.1
26/12/2008	-427.8	573.0	-203.5	-145.3	71.2	43.2	39.8	2.3	-1.0
M.O.	-691.0	612.0	-175.2	46.0	54.0	42.1	57.3	1.2	-1.5

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Διαμαντής, Ι., 1991. Υδρογεωλογική αναγνώριση και διερεύνηση δυνατοτήτων συνδυασμένης διαχείρισης υπόγειων και επιφανειακών νερών νομού Ροδόπης για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Τεχνική έκθεση στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος χρηματοδοτούμενου από τη Νομαρχία Ροδόπης. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ, Ξάνθη, 3 τεύχη, 198 σελ.
- Διαμαντής, Ι., 2009. Ποιοτική αξιολόγηση του υπόγειου νερού επιλεγμένων πεδίων του νομού Ροδόπης στα σημεία προέλευσης του (γεωτρήσεις), ως προς την περιεκτικότητα σε νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνιακές ουσίες, τα αίτια προέλευσης – προοπτικές. Ερευνητική έκθεση για λογαριασμό της Νομαρχίας Ροδόπης. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ, Ξάνθη, 57 σελ.
- ΔΠΘ, 2008. Διερεύνηση διαθέσιμων ποσοτήτων επιφανειακού νερού σε επίπεδο λεκάνης απορροής για την ικανοποίηση αρδευτικών και άλλων αναγκών του Νομού ροδόπης. Τρόποι διαχείρισης (φράγματα, λιμνοδεξαμενές) και περιοχές διάθεσης. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ, Ξάνθη, 50 σελ.
- Ζιαγκλιαβού , Σ., 2005. Μετρήσεις παροχών και φυσικοχημικών παραμέτρων στο υδατικό σύστημα Βοσβόζη – Ισμαρίδας. Διπλωματική Εργασία. Ξάνθη, 136 σελ.
- Κατσαβούνη, Σ. 2010. Σύνθεση καλλιεργειών στον Νομό Ροδόπης κατά τα έτη 2000-2008. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας - Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Θέρμη, 15 σελ.
- Μαλιώκας, Β., Σ. Καλιβάτσης., Ν. Βλαχόπουλος., Ε. Γεωργόπουλος., και Δ. Φυτίλη. 2008. Α' Φάση: Εκτίμηση προβλημάτων Υδάτινου Συστήματος Λιμνών Βιστωνίδας – Ισμαρίδας Λόγω του Προβλήματος της Στερεοπαροχής. Τεύχος Α. Υδρολογική Μελέτη Λεκανών Απορροής Λιμνών Βιστωνίδας και Ισμαρίδας. Θεσσαλονίκη, 128 σελ.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 484 σελ.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι Ανάγκες σε Νερό των Καλλιεργειών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 347 σελ.
- Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. και Π.Ε. Γεωργίου, 2007. Βασικές Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Διδακτικές σημειώσεις. Θεσσαλονίκη 57 σελ.
- Pisinaras, V., C. Petalas., V. A. Tsihrintzis and E. Zagana. 2007. A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece. Environmental Modeling and Assessment (2007) 12: 75Y89.